

«Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие... Куда ни посмотрим,
куда ни оглянемся, везде обращаются перед очами нашими успехи ее прилежания»

М.В. Ломоносов

Журнал входит в базу данных российских научных журналов Russian Science Citation Index на платформе Web of Science и включен в международную информационную систему AGRIS (Agricultural Research Information System), международную базу данных химических научных журналов Chemical Abstracts (CAS (pt)) и международную исследовательскую базу данных Research Bible.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

СВОЙСТВА ПОЧВ

Хрюкин Н.Н., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном.....2

Цховребов В.С., Каргалев И.В., Калугин Д.В. Эволюция каштановых почв в голоцене.....5

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Шеин Е.В., Мади А.И. Гранулометрический состав почв: методы лазерной дифракции и седиментометрии, их сравнение и использование.....9

Баранов А.П., Лунев М.И., Мерзлая Г.Е. Экоотоксикологическая оценка применения удобрений на основе осадков сточных вод методом биотестирования.....12

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

Лукин С.В. Медь в агроценозах лесостепи ЦЧО.....16

Панасин В.И., Уютов Р.Г., Рымаренко Д.А. Агрохимические аспекты распределения подвижного ванадия в аллювиальных почвах Калининградской области.....21

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Степанова Д.С., Дмитриевская И.И., Белопухов С.Л. Качество семян и масла при выращивании льна-долгунца на разных фонах минерального питания.....25

Назарова А.А., Полищук С.Д. Нанопорошки металлов-микроэлементов для повышения урожайности и качества свеклы кормовой.....28

Илюшенко И.В. Применение азотных удобрений под сахарную свеклу при различной обеспеченности черноземов минеральным азотом и подвижным фосфором.....31

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Кузнецов В.К., Санжаров А.И., Грунская В.П., Андреева Н.В. Агрохимические мероприятия в адаптивно-ландшафтном земледелии на радиоактивно загрязненных территориях.....34

Ефремов А.В., Торшин С.П. Влияние перепелиного помета и соломы, загрязненных ¹³⁷Cs, на поступление радионуклидов в проростки пшеницы и гороха.....37

Титова В.И., Ветчинников А.А., Гордеев В.М. Оценка состояния почвы, подвергшейся термическому воздействию при аварии на магистральном газопроводе.....41

ИЗУЧЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Максимова Е.Ю. Оценка применения гуминовых препаратов в качестве мелиорантов для рекультивации деградированных постпирогенных почв.....46

Викулина А.Н. Применение почвенных кондиционеров компании Life Force в технологии зеленого черенкования.....52

Габасова Д.Т., Маторин Д.Н., Братковская Л.Б., Алексеев А.А. Воздействие гуминовых веществ на световые реакции фотосинтеза зеленых микроводорослей.....56

Дмитревская И.И., Поветкина Н.Л., Алифиров М.Д., Кузина Н.С., Николаева Д.А. Влияние щелочных экстрактов из растительных отходов и куриного помета на систему почва-растение.....60

SOIL PROPERTIES

Khryukin N.N., Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. Dynamics of decomposition of vegetable residues in chernozem typical.....2

Tskhovrebov V.S., Kargalev I.V., Kalugin D.V. The evolution of chestnut soils in the Holocene.....5

RESEARCH METHODS

Shein E.V., Mady Ahmed Y. Granulometric composition of soils: methods of laser diffraction and sedimentometry, their comparison and use.....9

Baranov A.P., Lunev M.I., Merzlaya G.E. Assessment of the effects of fertilizer based on sewage sludge by the bioassay method.....12

ECOTOXICOLOGY

Lukin S.V. Copper in agrocenoses of the forest-steppe of Central chernozem federal district.....16

Panasin V.I., Uytov R.G., Rymarenko D.A. Agrochemical aspects of mobile vanadium distribution in the alluvial soils of the Kaliningrad Region.....21

PLANT NUTRITION

Stepanova D.S., Dmitrevskaya I.I., Belopukhov S.L. Quality of flax seeds and oil at different backgrounds of the mineral nutrition.....25

Nazarova A.A., Polishchuk S.D. Nanopowders of microelement metals for fodder beet quality and yield increase.....28

Ilyushenko I.V. Nitrogen fertilizers application for sugar beet cultivation under various supply of mineral nitrogen and available phosphorous in chernozem soils.....31

ECOLOGY QUESTIONS

Kuznetsov V.K., Sanzharov A.I., Grunskaya V.P., Andreeva N.V. Agrochemical events in adaptive-landscape agriculture in the contaminated territories.....34

Efremov A.V., Torshin S.P. Influence of quail manure and straw contaminated by ¹³⁷Cs on admission of radionuclides in sprouts of wheat and pea.....37

Titova V.I., Vetchinnikov A.A., Gordeev V.M. Assessment of soil exposed to high-temperature effects in the accident at the main gas pipeline.....41

RESEARCH OF HUMIC PREPARATIONS

Maksimova E.Yu. Evaluation of humic products application as ameliorants for degraded post-pyrogenic reclamation soils.....46

Vikulina A.N. Application of soil conditioners of life force company in the technology of green propagation of cherries and apple quince.....52

Gabbasova D.T., Matorin D.N., Bratkovsky L.B., Alekseev A.A. Impact of humic substances on the light reactions of photosynthesis in green microalgae *Scenedesmus Quadricauda*.....56

Dmitrevskaya I.I., Povetkina N.L., Alefirov M.D., Kuzina N.S., Nikolaeva D.A. The influence of alkaline extracts of weeds and organic fertilizers on the system soil-plant.....60

Главный редактор: И.С. Прохоров, к.с.-х.н.

Редакция: И.И. Прохорова (директор), М.А. Королькова, Н.В. Куроптева

Редколлегия: Р.М. Алексахин, д.б.н., А.И. Беленков, д.с.-х.н., С.Л. Белопухов, д.с.-х.н., Н.М. Белоус, д.с.-х.н., Н.В. Войтович, д.с.-х.н., А.А. Завалин, д.с.-х.н., А.Л. Иванов, д.б.н., Л.В. Кирейчева, д.т.н., Н.В. Клебанович, д.с.-х.н. (Беларусь), С.В. Лукин, д.с.-х.н., С.М. Лукин, д.б.н., М.М. Овчаренко, д.с.-х.н., А.В. Пасынков, д.б.н., Т.Ф. Перскова, д.с.-х.н. (Беларусь), А.А. Плотников, к.с.-х.н., О.А. Подколзин, д.с.-х.н., П.Д. Попов, д.с.-х.н., В.Г. Сычев, д.с.-х.н., В.И. Титова, д.с.-х.н., П.А. Чекмарев, д.с.-х.н.

Адрес для переписки: 115419, Москва, Шаболовка, 65-1-50. Тел/факс: (495) 952-76-25

www.agrochemv.ru e-mail: agrochem_herald@mail.ru

Отпечатано в ООО «САМ Полиграфист», г. Москва, 109316, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5

Подписано в печать 20.02.2018 г. Печать цифровая. Формат 60x90/8. Заказ 73408

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации Российской Федерации 29 апреля 1997 г. № 011095

ДИНАМИКА РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ЧЕРНОЗЕМЕ ТИПИЧНОМ

Н.Н. Хрюкин, А.В. Дедов, д.с.-х.н., М.А. Несмеянова, к.с.-х.н.
Воронежский ГАУ им. императора Петра I, e-mail: dedov050@mail.ru

В регулировании плодородия черноземов важную роль играют растительные остатки, поступающие в почву после уборки возделываемых сельскохозяйственных культур. Их ценность определяется не только биомассой, но и темпами ее разложения, влияющей на поступление в пахотный слой почвы питательных веществ. В условиях микроделяночного полевого опыта (заложены на полях Эртильского района Воронежской области) изучали степень и характер разложения растительных остатков в чистом виде и в смеси с другими культурами по слоям почвы чернозема типичного. Установлено, что интенсивность разложения смеси растительных остатков культур была больше, чем в чистом виде. По скорости разложения растительных остатков культур в чистом виде их можно расположить в следующем порядке: сахарная свекла – 72,8%, эспарцет – 69,9, донник – 68,2, люцерна – 67,7, ячмень – 54,7, озимой пшеницы – 54,0, подсолнечник – 50,6%. Интенсивность разложения растительных остатков в смеси была выше, чем в чистом виде: подсолнечника с люцерной синей на 19,1%, с эспарцетом на 16,3, с донником на 14,6, соломы озимой пшеницы с люцерной синей на 6,5, с донником на 5,0, с эспарцетом на 3,8%.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, растительные остатки, разложение, чернозем типичный.

DYNAMICS OF DECOMPOSITION OF VEGETABLE RESIDUES IN CHERNOZEM TYPICAL

N.N. Khryukin, Dr.Sci. A.V. Dedov, Ph.D. M.A. Nesmeyanova
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, e-mail: dedov050@mail.ru

In the regulation of the fertility of chernozems an important role is played by plant residues entering the soil after harvesting the cultivated crops. Their value is determined not only by biomass, but also by the rate of its decomposition, which affects the supply of nutrients to the plowing soil. The purpose of the work was to establish the degree and nature of the decomposition of plant residues in pure form and in a mixture with other crops along the soil layers of chernozem soil under the conditions of a micro-field experiment (laid in the fields of the Ertel district of the Voronezh region). It was found that the intensity of decomposition of a mixture of plant remnants of cultures was greater than in pure form. By the rate of decomposition of plant remains of cultures in their pure form, they can be arranged in the following descending order: sugar beet – 72.8%, sainfoin – 69.9, clover – 68.2, alfalfa – 67.7, barley – 54.7, winter wheat – 54.0, sunflower – 50.6%. The intensity of decomposition of plant residues in the mixture was higher than in pure form: sunflower with lucerne blue by 19.1%, with sainfoin by 16.3, with a sweet clover by 14.6, straw of winter wheat with alfalfa Blue by 6.5, with a sweet clover by 5.0, with a sainfoin by 3.8%.

Keywords: plant residues, typical chernozem, decomposition, perennial grasses, crop rotation.

Ежегодный вынос питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур и уменьшение объема применяемых удобрений привели к снижению плодородия черноземов. Остановить этот негативный процесс можно путем введения научно обоснованных севооборотов и более широкого использования биологических приемов повышения плодородия почвы [1, 2], например, бинарных посевов культур с многолетними бобовыми травами [3]. При этом важным аспектом влияния растительных остатков на показатели плодородия почвы яв-

ляется скорость их разложения.

В ЦЧР России разложение послеуборочных остатков сельскохозяйственных культур изучали более 30 лет [2, 4-7], но многие вопросы остаются не исследованными. Отсутствие четкого мнения по тому или иному вопросу или их противоречивость связаны с тем, что изучение разложения послеуборочных остатков проводилось авторами разными методами. Мало сведений о влиянии гидротермических условий на темпы разложения растительных остатков. Отсутствуют данные о

том, как влияет скорость и направленность процесса трансформации растительных остатков на плодородие почвы.

Цель работы – в микроделяночном полевом опыте установить степень и характер разложения растительных остатков в чистом виде и в смеси с другими культурами по слоям почвы чернозема типичного.

Методика. В 2009 г. был заложен микроделяночный полевой опыт в ООО «Нива» Эртильского района Воронежской области. Почвы опытного участка – чернозем типичный, глинистый. Содержание гумуса в пахотном слое почвы 0-30 см – 6,7%, рН_{KCl} – 5,5, сумма обменных оснований – 24 мг-экв/100 г, содержание подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) – 141 и 127 мг/кг почвы, гидролизуемого азота – 62,9 мг/кг почвы. Опыт заложен в соответствии с общепринятой методикой. Размещение вариантов систематическое. Повторность опыта трехкратная. В капроновые сетчатые мешочки размером 15 x 30 см помещали 0,6 кг абсолютно сухой почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 3 мм, и 12 г (в пересчете на абсолютно сухое вещество) послеуборочных остатков (стерни) культур. Измельчение растительных остатков проводили вручную, длина отрезков стеблей составила 5-7 см, что было имитацией измельчения комбайном с измельчителем. Все образцы закладывали сразу в слои почвы 0-10, 10-20 и 20-30 см. Почву участка микроделяночного опыта в течение вегетационного периода поддерживали в рыхлом состоянии. В соответствующий срок (май следующего года) мешочки изымали из почвы, высыпали из них почву и удаляли из нее корни сорных растений, если они там были. После этого методом декантации в воде отделяли органические остатки от почвы, сливая их через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Отмытую органическую массу высушивали в термостате до абсолют-

но сухого состояния, затем взвешивали [2, 6]. Содержание в растительных остатках углерода определяли по Анстету, азот по К.Е. Гинзбург [8].

Результаты. Установлено, что скорость разложения послеуборочных остатков зависела от культуры или смесей культур, а также от химического состава остатков, погодных условий периода разложения и слоя почвы. Поступившие в почву послеуборочные растительные остатки (солома и биомасса сидератов) начинают разлагаться. Скорость их разложения зависела от вида остатков (табл. 1).

В чистом виде в первый год наиболее интенсивно разлагались послеуборочные остатки сахарной свеклы – на 72,8%, медленнее – ячменя (на 54,7%), озимой пшеницы (на 54,0%) и подсолнечника (на 50,6%). Растительные остатки многолетних бобовых трав разлагались практически одинаково: эспарцета – на 69,9%, донника – на 68,2%, люцерны синей – на 67,7%.

При возделывании сельскохозяйственных культур в пахотный слой почвы поступают растительные остатки нескольких культур, поэтому их интенсивность разложения будет другой. Так установлено, что интенсивность разложения смесей растительных остатков зависела от состава смесей культур. Темпы разложения при смешивании с многолетними бобовыми травами возрастали: соломы озимой пшеницы с люцерной синей – на 6,5%, с донником – на 5,2, с эспарцетом – на 3,8, смеси остатков подсолнечника с люцерной синей – на 19,1, с донником – на 16,3, с эспарцетом – на 7,2%. По скорости разложения растительных остатков в модельном полевом опыте за 3 года культуры можно расположить в следующем убывающем порядке: сахарная свекла – 72,8%, эспарцет – 69,9, донник – 68,2, люцерна – 67,7, ячменя – 54,7, озимая пшеница – 54,0, подсолнечник – 50,6%.

1. Степень разложения растительных остатков культур севооборота по слоям почвы, %

Вариант	0-10 см				10-20 см				20-30 см				Среднее 0-30 см
	2010	2011	2012	среднее	2010	2011	2012	среднее	2010	2011	2012	среднее	
Один вид остатков													
1. Сахарная свекла	36,0	70,1	98,2	68,1	58,1	90,3	95,2	81,2	60,0	80,0	67,0	69,0	72,8
2. Эспарцет (Э)	45,2	78,3	81,1	68,2	54,1	78,2	81,0	71,1	50,4	81,6	78,9	70,3	69,9
3. Донник (Д)	43,0	77,5	83,2	67,9	58,1	73,3	80,4	70,6	50,6	76,6	70,8	66,0	68,2
4. Люцерна (Л)	48,3	80,4	64,5	64,4	57,5	66,4	77,1	67,0	51,8	82,8	80,8	71,8	67,7
5. Ячмень	35,5	58,2	64,4	52,7	47,2	62,8	70,0	60,0	34,3	64,3	55,3	51,3	54,7
6. Озимая пшеница	32,3	52,1	63,4	49,3	44,3	70,1	72,2	62,2	33,5	63,5	54,5	50,5	54,0
7. Подсолнечник	33,0	55,6	52,2	46,9	45,0	57,4	66,2	56,2	40,8	70,8	34,8	48,8	50,6
Смесь остатков культур													
8. Подсолнечник + Л	42,1	72,1	91,0	68,4	49,2	77,2	92,6	73,0	49,6	76,6	77,2	67,8	69,7
9. Подсолнечник + Э	40,5	70,5	88,5	66,5	48,1	71,0	91,2	70,1	45,0	73,3	74,0	64,1	66,9
10. Подсолнечник + Д	46,3	86,3	66,3	66,3	46,9	69,9	86,9	67,9	44,4	70,4	69,4	61,4	65,2
11. Озимая пшеница + Л	37,4	67,4	70,1	58,3	46,9	66,1	87,7	66,9	44,2	74,2	50,2	56,2	60,5
12. Озимая пшеница + Д	32,0	72,0	82,9	62,3	47,1	63,1	76,1	62,1	43,3	71,2	45,4	53,3	59,2
13. Озимая пшеница + Э	40,7	65,7	64,0	56,8	44,4	64,0	84,5	64,3	41,2	70,4	45,6	52,4	57,8
НСР ₀₅	1,1	1,3	2,3	-	1,5	1,2	2,1	-	1,5	1,04	1,2	-	-

2. Содержание в растительных остатках различных культур углерода, азота и их соотношение

Вариант	Содержание в растительных остатках, %		
	C	N	C:N
Один вид остатков			
1. Озимая пшеница	47,1	0,85	55,4
2. Ячмень	44,4	0,73	60,8
3. Сахарная свекла	35,6	2,36	15,1
4. Подсолнечник	42,6	1,29	33,0
5. Люцерна (Л)	43,5	1,73	25,1
6. Эспарцет (Э)	45,4	1,57	28,9
7. Донник (Д)	46,3	1,64	28,2
Смесь остатков культур			
8. Озимая пшеница + Л	42,2	1,38	30,6
9. Озимая пшеница + Э	41,6	1,22	34,1
10. Озимая пшеница + Д	44,5	1,41	31,6
11. Подсолнечник + Д	40,8	1,31	31,1
12. Подсолнечник + Э	41,5	1,28	32,4
13. Подсолнечник + Л	42,2	1,37	30,8
НСР ₀₅	1,2	0,10	

Смеси биомассы культур можно расположить в следующем убывающем порядке: подсолнечник с люцерной синей – 69,7%, с эспарцетом – 66,9%, с донником – 65,2%, солома озимой пшеницы с люцерной синей – 60,5%, с донником – 59,2%, с эспарцетом – 57,8%.

В годы исследований не наблюдалось существенных различий в скорости разложения растительных остатков (табл. 2). Это связано с тем, что различия в химическом составе биомассы культур были не столь значительны, чтобы влиять на скорость разложения, т.е. органическое вещество всех многолетних бобовых трав содержало достаточное количество азота и имело узкое соотношение углерода к азоту (C:N), поэтому эти остатки способны быстро разлагаться. Когда же различия в химическом составе разлагающейся биомассы были значительными, то это сразу же сказывалось на скорости ее разложения. Так, солома озимой пшеницы и яч-

меня содержала от 0,73 до 0,85% азота, имела широкое соотношение C:N от 55 до 60, поэтому медленно разлагалась. Смешивание соломы озимой пшеницы и растительных остатков подсолнечника с многолетними бобовыми травами увеличивало содержание азота от 1,22 до 1,41%, соотношение C:N становилось уже – от 30,6 до 32,4, поэтому темпы разложения увеличивались.

На скорость разложения биомассы оказывали влияние погодные условия. Наиболее высокой скоростью разложения органического вещества культур была в 2011 и 2012 гг., когда ГТК за май-август был выше среднемноголетнего значения на 26% (1,43), а самой низкой – в засушливом 2010 г. В 2010 г. скорость разложения сдерживалась недостатком влаги при избытке тепла, а в 2011 и 2012 г. – недостатком тепла при избытке влаги. Вместе с тем, незначительная амплитуда колебаний гидро-термических условий при различной глубине заделки в почву биомассы многолетних бобовых трав культур (0-10, 10-20, 20-30 см), имеющих достаточное количество легкоомобилизуемых соединений с узким соотношением углерода к азоту, не сказывалась на скорости разложения остатков в этот период. Можно отметить лишь замедление разложения в верхнем слое (0-10 см) по сравнению с более влажными слоями 10-20 и 20-30 см.

Выводы. 1. По скорости разложения растительных остатков в микроделяночном полевом опыте культуры располагались в следующем убывающем порядке: сахарная свекла – 72,8%, эспарцет – 69,9, донник – 68,2, люцерна – 67,7, ячменя – 54,7, озимой пшеницы – 54,0%, подсолнечника – 50,6%. 2. Интенсивность разложения растительных остатков в смеси была выше, чем в чистом виде. 3. На скорость разложения биомассы оказывали влияние погодные условия и слой почвы. В засушливый год скорость разложения снижалась в слое почвы 0-10 см, во влажный – увеличивалась по сравнению с более влажными слоями 10-20 и 20-30 см.

Литература

1. Семькин В.А., Картамышев Н.И., Мальцев В.Ф., Дедов А.В. и др. Биологизация земледелия в основных земледельческих регионах России; под ред. Н.И. Картамышева. – Москва: КолосС, 2012. – 471 с.
2. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборота // Агрохимия, 2016, № 6. – С. 3-8.
3. Дедов А.В., Несмеянова М.А., Кузнецова Т.Г. Бинарные посеы в ЦЧР. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2015. – 140 с.
4. Зезюков Н.И. Научные основы воспроизводства плодородия черноземов ЦЧЗ: автореф. дисс. д.с.-х.н. – Воронеж, 1993. – 36 с.
5. Лопырев М.И., Постолюк В.Д., Дедов А.В. Каталог проектов агроландшафтов и земледелие (сохранение плодородия, территориальная организация систем земледелия, устойчивость к изменению климата). – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2013. – 183 с.
6. Сотников Б.А. Влияние приемов биологизации на динамику лабильных форм органического вещества и урожайность культур: автореф. дисс. к.с.-х.н. – Воронеж, 2004. – 18 с.
7. Прохоров И.С., Кураков А.В. Грибной гидролиз растительных полимеров и азотфиксация в почвах / Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск, 2004, т. 1. – С. 639.
8. Мамонтов В.Г., Гладков А.А., Кузелев М.М. Практическое руководство по химии почв. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 225 с.

ЭВОЛЮЦИЯ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ В ГОЛОЦЕНЕ

В.С. Цховребов, д.с.-х.н., И.В. Каргалеv, к.с.-х.н., Д.В. Калугин, к.с.-х.н.

Ставропольский государственный аграрный университет, e-mail: tshovrebov@mail.ru

Проблемы почвообразования занимают ведущее место в современном теоретическом почвоведении. Для установления изменений каштановых почв на границе Туркменского района Ставрополья и республики Калмыкия были проведены исследования погребенных почв и их современных аналогов. Благодаря способу погребения почвы не нарушались и сохранились в нетронутом состоянии. Современные почвы изучены в непосредственной (80-100 м) близости от кургана. Исследованы минералогический, гранулометрический, солевой состав, состояние ППК погребенных и современных каштановых почв. Установлено, что за пяти тысячелетний период в составе глинистых минералов произошла перестройка в системе смектит – гидрослюды с новообразованием последних. Содержание каолинита особых изменений не претерпевает. По солевому составу погребенные почвы среднесолончаковатые, современные – не засолены. По составу обменных оснований погребенные почвы классифицируются как солонцы, современные – несолонцеватые. Исследование кислотно-щелочного потенциала указывает на снижение щелочности в современных почвах на 0,2-0,7 ед. при слабощелочном рН, следовательно почвы прошли эволюцию от солонцов солончаковатых до зональных каштановых почв.

Ключевые слова: эволюция, смектиты, гидрослюды, солевой состав, солонцы, каштановые почвы.

THE EVOLUTION OF CHESTNUT SOILS IN THE HOLOCENE

Dr.Sci. V.S. Tskhovrebov, Ph.D. I.V. Kargalev, Ph.D. D.V. Kalugin

Stavropol State Agrarian University, e-mail: tshovrebov@mail.ru

The problems of soil formation occupy a leading place in modern theoretical soil science. To determine changes in chestnut soils over a 5-thousand year period, studies of buried soils and their modern analogues were carried out at the border of the Turkmen region of Stavropol and the Republic of Kalmykia. Thanks to the method of burial, the soil was not disturbed and preserved intact. Modern soils have been studied in the immediate vicinity (80-100 m) of the mound. Mineralogical, granulometric and salt composition, state of the soil sorption complex of buried and modern chestnut soils were studied. It is established that within 5-thousand years in the composition of clay minerals there has been a reorganization in the smectite-hydromica system with neoplasm of the latter. The content of kaolinite does not undergo special changes. According to the salt composition, the buried soils are medium solonchakous, modern soils are not saline. According to the composition of the exchange bases, the buried soils are classified as solonetztes, modern ones are non-solonetsous. The study of acid-base potential indicates a decrease in alkalinity in modern soils by 0.2-0.7 units at slightly alkaline pH, consequently, the soils have evolved from solonetzic solonets soils to zonal chestnut soils.

Keywords: evolution, smectites, hydromica, salt composition, solonetses, chestnut soils.

Изучение эволюции почв – одна из главных задач генетического почвоведения, от решения которой зависит понимание закономерностей развития почв и ландшафта в целом [1-2]. Основными факторами почвообразования, как правило, признаются порода, растительность рельеф и климат [3-4]. В современном почвоведении довольно незначительное внимание уделяется времени, как фактору почвообразования. Процесс почвообразования при одних и тех же климатических условиях не прекращается [5, 6]. Изучение направленности почвообразования представляет огромный теоретический и практический интерес.

Цель исследования – изучение эволюционных изменений каштановых почв под действием фактора Времени.

Методика исследований. Для установления изменений в составе каштановых почв на границе Туркменского района и республики Калмыкия были проведены исследования погребенных почв и их современных аналогов в местечке, называемом археологами «Шарахалсун». Высота курганов колеблется от 2,5 до 4,5 м, диаметр оснований 40-50 м. Погребения в курганах совершены приблизительно 4800-5200 лет назад. Способ вскрытия курганов – траншейно-бровковый. Способ погребения был

следующим: выкапывали яму глубиной 0,5-1,0 м, которую засыпали грунтом, отбираемым вокруг кургана. Таким образом, погребенные почвы не нарушались и сохранились в прекрасном, нетронутым состоянии. Современные почвы изучены в непосредственной (80-100 м) близости от кургана.

Почвы каштановой зоны Ставрополя образованы на лессовидных суглинках в условиях аридного климата. Генезис лессовидных суглинков сложен и разнообразен. Имея эоловое происхождение они, тем не менее, обладают богатым минералогическим составом, так как представляют собой продукты выветривания горных пород Средней Азии, смешанные с морскими отложениями древнего Майкопского моря. В самом начале почвообразования в голоцене (около 11 тыс. лет) материнские породы имели разную степень засоления. Изначально они засолены в разной степени. В процессе почвообразования и простого промывания, почвенный профиль освобождается от легкорастворимых солей, что благоприятно сказывается на почвообразовательном процессе и эволюции почв.

Результаты. При описании профиля погребенной почвы установлено, что она имеет все морфологические признаки солонца каштанового степного среднесуглинистого. Например, хорошо диагностируется иллювиальный горизонт В по столбчатости, структуре, уплотнению. Современная почва не имеет морфологических признаков, свойственных солонцовым почвам. Более того, она хорошо оструктурена и иллювиальная зона богата свободными карбонатами. По уровню вскипания от 10% HCl особой разницы между современными и погребенными почвами не обнаружено.

В погребенных почвах можно выделить более вытянутый переходный горизонт к породе, что свойственно для незрелых почв.

По морфологическим признакам можно косвенно судить и о климате середины голоцена, совпадающем с переходом от атлантического периода к суббореальному. Ученые-палеоклиматологи считают атлантический период наиболее благоприятным за весь голоцен. Из строения почвенного про-

филя видно, что материнская порода погребенных почв залегает на 20-25 см ниже, чем у современных. Это свидетельствует о более глубокой зоне промачивания в тот период, которая могла быть вызвана большим количеством осадков. Ранее проведенные исследования [4] морфологических признаков указали на четко выраженный горизонт В с явными признаками солонца. Несколько неожиданным был тот факт, что мы не нашли в погребенной почве выраженного горизонта В₂. Возможно, что на стадии солончак – солонец (при рассолении солончака и образовании солонца) подсолонцовый горизонт не сформирован. Тем не менее, эволюцию почв из солонцов в каштановые зональные нельзя связывать с изменением климата. Каштановые солонцы приурочены к засушливой зоне, нарастание засушливости климата не способствует рассолонцеванию почв. Изменение почв связано с ходом естественно-исторических эволюционных процессов и обусловлено таким мало изученным в почвоведении фактором почвообразования, как время.

Для того, чтобы судить об эволюции почвенного тела за определенный период времени, провели анализ содержания глинистых минералов в современной и погребенной почве. Данные таблицы 1 показывают, что погребенная и современная почва имеют значительные отличия в составе слюд и смектитов. В верхнем горизонте погребенной почвы смектита до 25%. Происходит увеличение в его содержании по профилю, достигая в породе 38% от суммы глинистых минералов. Гидрослюды в горизонте А в количестве 58%. В породе происходит постепенное снижение в их содержании до 40%.

В современной почве картина совсем иная: в дернинном горизонте смектиты отсутствуют, появляются в горизонте А₁ в количестве 5% и увеличивают свое содержание до 43% в породе. Количество гидрослюды в дернинном горизонте достигает 84% и снижается вниз по профилю до 35%. Содержание каолинита не претерпевает значительных изменений по профилю как в погребенной, так и в современной почве. Это лишний раз доказывает инертность двухслойных минералов этого ряда к

1. Минералогический состав и содержание CaCO₃ в современной и погребенной почвах

Горизонт	Глубина образца, см	CaCO ₃ , %	Содержание фракции		Соотношение фаз в иле, %		
			<0,001 мм	0,001-0,005 мм	Смектит	Гидрослюда	Каолинит
Погребенная почва							
A	0-8	Нет	16,5	8,4	25	58	19
B	8-29	Нет	17,0	8,3	27	49	24
BC	29-76	17,2	25,8	8,4	35	41	23
C	76-110	14,0	20,1	5,6	38	37	25
Современная почва							
A _d	0-7	Нет	12,0	11,0	Нет	84	16
A ₁	7-18	Нет	13,0	7,6	5	70	25
B	18-39	4,9	24,7	7,9	28	55	16
BC	39-50	23,0	24,6	6,6	41	40	19
C	50-100	22,2	19,1	6,6	43	35	21

процессам выветривания. Можно лишь отметить, что содержание каолинита в верхнем горизонте погребенной почвы несколько выше, чем в современной. Это может быть связано с каолинитизацией верхнего горизонта солонцовой почвы, сопряженной с более активным выветриванием, свойственным для дернинного горизонта солонца.

Налицо эволюция глинистой фракции минералов. За истекшие 5 тыс. лет произошла перестройка в системе смектиты – гидрослюды с новообразованием последних.

Растения в процессе своей жизнедеятельности разрушают минералы и выносят огромное количество питательных веществ. Многие из них теряются с внутрипочвенным или надпочвенным стоком. Например, калий накапливается в верхних горизонтах, необменно фиксируется в кристаллической структуре монтмориллонита, что приводит к новообразованию менее набухающих и более благоприятных в физическом отношении для почв иллитов. Этот процесс известен в геологии как процесс иллитизации. Верхние горизонты погребенной почвы имеют гораздо больше смектитов, что свойственно для почв солонцового ряда. Они, безусловно, должны были обладать более худшими физическими свойствами, чем современные почвы. И если это сопряжено с отсутствием структурообразователей, таких как карбонаты кальция, то показатели физических свойств изменяются в худшую сторону.

Практическое однообразие минерального состава горизонта С как погребенной, так и современной почвы доказывает единство их происхождения.

Выявленные изменения нельзя в буквальном смысле отождествлять с негативными или позитивными явлениями, происходящими в почве. Они носят чисто эволюционный характер. Хотя необходимо отметить, что более благоприятный минералогический состав имеют современные почвы, и это связано с отсутствием и низким содержанием легконабухающих смектитов в верхних горизонтах.

Солевой состав жидкой фазы почв находится в состоянии равновесия с почвенным поглощающим комплексом. Снижение в содержании любого катиона в почвенном растворе влечет за собой аналогичные изменения и в ППК. При исследовании солевого состава погребенных почв кургана выявлено, что верхний горизонт средне засолен и сухой остаток составляет 0,45% (табл. 2). Иллювиальный горизонт имеет среднюю степень засоления, равную 0,40%. Вниз по профилю количество солей имеет тенденцию к снижению. Среди анионов преобладает хлор, а среди катионов – натрий. Следовательно, основную часть солей должен составлять хлористый натрий. Примечательно, что в иллювиальном горизонте происходит резкое увеличение в содержании натрия (до 4,7 мг-экв/100 г), что более чем в 2 раза превосходит как надсолонцовый, так и

2. Солевой состав современных и погребенных почв

Горизонт, глубина, см	Сухой остаток, %	мг-экв/100 г					
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Погребенная почва							
A, 0-8	0,45	0,43	3,00	0,80	0,75	1,50	1,98
B, 8-29	0,40	1,30	4,60	0,80	1,00	1,00	4,70
BC, 29-76	0,28	0,38	4,10	0,90	1,25	2,50	1,63
C, 76-110	0,27	0,80	3,05	0,90	1,25	1,25	2,25
Современная почва							
А _д , 0-7	0,09	0,90	0,48	0,10	0,25	1,00	0,23
A, 7-18	0,09	0,88	0,35	0,10	0,25	0,75	0,33
B, 18-39	0,12	1,43	0,30	0,10	0,50	1,00	0,33
BC, 39-50	0,10	1,00	0,48	0,11	0,50	0,75	0,34
C, 50-100	0,13	1,38	0,55	0,12	0,25	1,50	0,30

подсолонцовый горизонты. Такое распределение характерно для солонцовых почв.

Количество гидрокарбонатов имеет тенденцию к увеличению по профилю, а количество сульфатов стабильно. Среди двухвалентных катионов преобладает магний, но в солонцовом горизонте и в породе его количество одинаково.

Профиль современной почвы не засолен. Общее содержание солей в дернинном горизонте составляет всего 0,09% и слабо увеличивается по профилю. Качественный состав солей резко отличается от погребенных почв. Среди анионов здесь преобладает бикарбонат-ион. Его содержание 0,9 мг-экв/100 г в дернинном горизонте и увеличивается до 1,38 мг-экв/100 г в породе. Содержание хлора и сульфатов на порядок ниже, чем в погребенных почвах. Суммарное содержание хлорид- и сульфат-ионов не превышает и половины от содержания бикарбонат-ионов. Среди катионов преобладает Mg²⁺. В верхнем горизонте его до 1,00 мг-экв/100 г, что в 4 раза превосходит количество Ca²⁺. Вниз по профилю четкой закономерности в его распределении не обнаружено, как не было обнаружено и для катионов кальция. Количество Na⁺ в верхнем горизонте меньше, чем других катионов и составляет 0,23 мг-экв/100 г, несколько увеличивается в горизонте А и затем стабильно по профилю. Иллювиальная зона по содержанию натрия не выделяется.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что за весь голоценовый период шло засоление изучаемых почв, значительная часть которого была пройдена до середины голоцена. Качественный состав солей изменился в лучшую сторону и с сульфатно-хлоридного перешел в гидрокарбонатный. Содержание натрия снизилось на порядок.

При исследовании состава обменных оснований погребенной почвы кургана выявлено, что их сумма имеет не высокие значения (в пределах 13-16 мг-экв/100 г). Это согласуется с гранулометрическим составом легко- и среднесуглинистых почв (табл. 3).

3. Состав обменных оснований современных и погребенных почв

Горизонт, глубина, см	pH _{H2O}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Σ обменных оснований, мг-экв/100 г	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		мг-экв/100 г				% от Σ		
Погребенная почва								
А, 0-8	7,8	7,4	4,1	2,00	13,5	54,8	30,4	14,8
В, 8-29	8,4	7,4	3,4	4,12	14,9	49,6	22,7	27,7
ВС, 29-76	8,5	9,2	2,1	5,16	16,5	55,8	12,8	31,4
С, 76-110	8,6	9,3	2,8	2,26	14,4	64,7	19,5	15,8
Современная почва								
А _д , 0-7	7,6	8,1	4,1	0,40	12,6	64,3	32,5	3,2
А, 7-18	7,7	8,1	4,2	0,25	12,6	64,3	33,5	2,2
В, 18-39	8,0	10,9	3,0	0,28	14,2	76,9	21,1	2,0
ВС, 39-50	8,4	10,0	4,5	0,40	14,9	67,1	30,2	2,7
С, 50-100	8,8	6,5	8,7	0,72	15,9	40,9	54,6	4,5

Среди поглощенных катионов преобладает кальций, но его всего немногим более половины от суммы в горизонте А, в горизонте В количество магния и натрия превосходит количество кальция. Вниз по профилю обозначена тенденция к увеличению содержания этого обменного катиона. Количество магния, наоборот, снижается по профилю.

Содержание натрия от суммы в горизонте А составляет 14,8% и резко увеличивается до 27,7% в горизонте В, что дает основания классифицировать эти почвы как солонцы. Иллювиальная зона погребенных почв не ограничивается солонцовым горизонтом. Она затрагивает и переходный к породе горизонт. В самой породе количество натрия вновь снижается. Изменения в составе обменных оснований согласуются и с данными кислотно-щелочного потенциала. pH_{H2O} верхнего горизонта – слабощелочная и составляет 7,8. В солонцовом горизонте pH_{H2O} уже щелочная и возрастает до 8,4. Это может быть обусловлено резким увеличением количества обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе, т.к. он обуславливает потенциальную щелочность почв.

В современных почвах картина совсем иная. Схожесть между погребенными и современными почвами просматривается только в сумме обменных оснований. Следовательно этот показатель не претерпевает существенных изменений даже за 5 тыс. лет.

В современных почвах Ca²⁺ занимает лидирующие позиции, в горизонте В его количество максимально и составляет 76,9% от суммы. Распределение в содержании обменного магния свидетельствует о наличии процессов иллювиирования в профиле. Содержание обменного натрия в дернинном горизонте составляет 3,2%, а в иллювиальном – всего 2% от суммы. Это дает возможность классифицировать эти почвы как несолонцеватые.

pH_{H2O} почвенных растворов также имеет тесную связь с ППК. Слабощелочной дернинный горизонт имеет pH_{H2O} 7,6 ед., в горизонте А pH не меняется и возрастает в горизонте В до 8,0. Вниз по профилю pH имеет тенденцию к увеличению. Такие изменения кислотно-щелочного потенциала обусловлены не обменным натрием, а обменным кальцием и наличием свободных карбонатов.

Таким образом, каштановые почвы с начала голоценового периода последовательно прошли стадии рассоления и рассолонцевания. На наш взгляд, стадийность почвообразования возможно шла по следующей схеме: солончаки → солончаковатые почвы → солонцевато-солончаковатые → солонцы → солонцеватые почвы → зональные каштановые. Исследуемые курганы датируются 5-тысячелетним возрастом. Следовательно, в это время они находились в середине пути и классифицировались как солонцевато-солончаковатые с явно выраженными признаками солонца.

Литература

1. Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. – М.: Наука, 1992. – 144 с.
2. Демкин В.А., Иванов И.В. Развитие почв Прикаспийской низменности в голоцене. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1985. – 165 с.
3. Каргалева И.В. Эволюция почв каштановой зоны Ставрополя в голоцене / Материалы II межд. конгресса «Молодежь и наука – третье тысячелетие», IX межд. научн. конф. «Шаг в будущее», Москва, 2002. – С. 125-126.
4. Цховребов В.С. Каргалева И.В. Эволюция почв в историческом цикле на примере Ипатовского кургана-могильника / Материалы I межд. науч. конф. «Циклы», Ставрополь, 2000. – С. 143-146.
5. Слюсарев В.Н., Онищенко Л.М., Осипов А.В. Современное состояние почв Северо-Западного Кавказа // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2013, № 42. – С. 99-103.
6. Терпелец В.И., Власенко В.П., Осипов А.В. Современные почвообразовательные процессы в гидротематоморфизованных почвах Западного Предкавказья // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ, 2012, № 5. – С. 98-101.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 631.414

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ: МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКЦИИ И СЕДИМЕНТОМЕТРИИ, ИХ СРАВНЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

¹Е.В. Шейн, д.б.н., ²А.И. Мадн

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, e-mail: evgeny.shein@gmail.com

²Университет Эйн Шамс, Каир, Египет, e-mail: ahmed_mady@agr.asu.edu.eg

Гранулометрический состав почв (ГСП) повсеместно используют и как базовое фундаментальное свойство, и как основной параметр для вычисления необходимых свойств почв в виде предиктора в педотрансферных функциях (ПТФ). Для его определения используют традиционные седиментометрические методы (метод пипетки, ареометрический) и новый метод лазерной дифракции. Целью исследования было сравнение ГСП, полученного разными методами, и оценка возможности использования результатов метода лазерной дифракции для расчета коэффициента фильтрации (Кф). Несмотря на то, что изучаемые методы дают в разных почвах систематические ошибки, дисперсия фракций ГСП, измеряемая обоими методами, незначительна и не меняла тип текстуры почвы. Результаты исследования ГСП методами лазерной дифракции и пипет-методом могут быть использованы для прогнозного расчета Кф с использованием ПТФ без каких-либо модификаций или пересчетов для суглинистых почв дерново-подзолистого типа почвообразования.

Ключевые слова: гранулометрический состав почв, метод лазерной дифракции, седиментометрия, педотрансферные функции, коэффициент фильтрации.

GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SOILS: METHODS OF LASER DIFRACTION AND SEDIMENTOMETRY, THEIR COMPARISON AND USE

¹Dr.Sci. E.V. Shein, ²Ahmed Y.Mady

¹Lomonosov Moscow State University, e-mail: evgeny.shein@gmail.com

²Ain Shams University, Cairo, Egypt, e-mail: ahmed_mady@agr.asu.edu.eg

The granulometric composition of soils (GCS) is widely used both as the basic fundamental property and as the main predictor to calculate the necessary soil properties in the form of a predictor in pedotransfer functions (PTF). Currently, the traditional sedimentometric methods (the pipette method, hydrometer) are used, and a new method of laser diffraction begins to be actively used. The aim of the study is to compare the GCS obtained by different methods and to estimate of the possibility of using the results by laser diffraction to calculate the filtration coefficient (Kf). Despite the fact that the methods give systematic errors in different soils, the dispersion of GCS fractions, measured by both methods, was insignificant and did not change the type of soil texture. The results of the investigation of GCS by laser diffraction methods and the pipette method can be used for the predictive calculation of Kf with the use of PTF, without any modifications or recalculations for loamy soils of soddy-podzolic soil formation.

Keywords: granulometric composition of soils, laser diffraction method, sedimentometry, pedotransfer functions, filtration coefficient.

Распределение частиц по размерам (гранулометрический состав почв, ГСП) – важнейшее свойство почв, определяющее движение воды, питательных веществ и агрохимикатов. До настоящего времени определение ГСП проводили седиментометрическими методами, – т.е. методами, использующими законы осаждения, в частности, закон Стокса. Наиболее популярным в этой области методом в России является метод пипетки, за рубежом – ареометрический метод (метод гигрометра). В последние десятилетия

во всех странах стали использовать метод лазерной дифракции. В ряде работ [1, 2] сообщается, что методы седиментации дают более высокие значения илистых и глинистых фракций из-за неравномерного распределения плотности твердой фазы в разных гранулометрических фракциях. В тяжелых глинистых почвах с высоким содержанием органических веществ имеется существенная разница в плотности частиц разного размера, которая может вызвать серьезные расхождения в итоговом распределении ча-

стиц методами седиментометрии и лазерной дифракции. Последний метод имеет другой физический принцип определения размера частиц, его данные не зависят от плотности частиц, а определяются их отражательными свойствами и размерами. Кроме того, гранулометрический состав почв служит основным предиктором для расчета коэффициента фильтрации, когда по содержанию физической глины можно с помощью специальных функций (в частности, педотрансферных функций, ПТФ) рассчитать коэффициент фильтрации и использовать его для мелиоративных и агротехнологических целей. Следует учитывать, что все ПТФ основаны на определении ГСП методами седиментометрии, и все базы данных содержат данные ГСП, полученные либо пипет-методом, либо гигрометром. В связи с этим встает вопрос, – возможно ли на современном этапе развития агротехнологий использовать данные по ГСП, полученные лазерным методом, для восстановления необходимых свойств почв по известным ПТФ.

Цель исследования – сравнение ГСП, полученного разными методами (лазерной дифракции и пипет-метода), и оценка возможности использования результатов методом лазерной дифракции для расчета коэффициента фильтрации. Задачи работы: (1) определение ГСП указанными методами; (2) сравнительный анализ результатов ГСП, полученного указанными методами; (3) определение Кф традиционным экспериментальным методом; (4) оценка погрешностей расчета Кф, возникающих при использовании ГСП указанными методами.

Объекты и методы. Исследовали суглинистые агродерново-подзолистые (Umbric Albeluvisols Abgurtic, WRB, 2006) почвы (Московская область, Россия, Зеленоградская опытная станция Почвенного института им. В.В. Докучаева), которые подробно описаны [3]. Представлены результаты изучения ГСП горизонтов А (0-30) см, ЕL (30-40) и В1 (40-50 см). Распределение частиц по размерам измеряли методом лазерной дифракции (ЛД) и пипет-методом (ПМ) по Качинскому (седиментационный метод). Определение ГСП лазерным методом проводили с использованием гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм в качестве источника света с использованием Analysette-22 [2, 4]. ПМ использовали в классическом варианте с 4% раствором пирофосфата натрия в качестве диспергирующего агента [5]. Применяли международную классификацию: песок (> 0,05 мм), пыль (0,002-0,05 мм) и глина (< 0,002 мм). Кф определяли согласно метода Кюта [6], используя постоянный гидравлический напор. Эту величину также рассчитывали по программе Rosetta [7] на основе данных ГСП, измеренных ПМ и ЛД методами.

Величины Кф экспериментально определяли для различных горизонтов почвы. Для этих же горизонтов определяли ГСП методами ЛД и ПМ. Далее, с помощью специализированной программы Rosetta,

на основе гранулометрического состава в качестве предиктора рассчитывали Кф. В итоге получали экспериментальные значения Кф и 2 значения Кф, восстановленных по ГСП, полученных лазерным (Кф_лд) и пипет-методом (Кф_пм). Используя статистические параметры, такие как коэффициент корреляции (R^2) и средняя статистическая ошибка (RMSE), а также значения дисперсии, можно было проанализировать, какие из методов-предикторов дают более надежные, т.е. близкие к экспериментальным, значения Кф.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 показаны некоторые статистики фракций песка, пыли и глины, измеренных ПМ и ЛД. Установлено, что средние значения фракций, измеренные ПМ, составили 4,56%, 68,65 и 26,79%. В то время как средние значения для показателей ГСП, измеренных ЛД, составляли соответственно 2,94%, 82,33 и 14,73%. Относительная погрешность для фракций песка, пыли и глины по указанным методам составляла соответственно 1,62%, 13,68 и 12,06%. Доля песка, измеренная ПМ, относительно близка к измеренной ЛД, в то время как фракция глины, измеренная ЛД, была ниже, чем измеренная ПМ. С другой стороны, доля пыли, полученная ЛД, была выше, чем полученная ПМ. Наибольшее значение коэффициента корреляции между двумя методами для фракции песка составляло 0,854. Хотя значение коэффициента корреляции было ниже для фракций пыли и глины, однако и они были достоверны и равны соответственно 0,48 и 0,75. Более того наименьшее значение средней квадратической ошибки для фракции песка составляло 2,24%, а для фракций пыли и глины достигало соответственно 13,8 и 12,4%.

Учитывая высокую дисперсию и невысокие значения средних квадратических ошибок результатов ГСП можно утверждать, что существенных различий между ГСП, полученных ЛД и ПМ методами нет, не существует и уникальной взаимосвязи. Более того различная минералогия и форма частиц могут сильно влиять на различия между этими двумя методами. Однако вопрос о применении ГСП, полученного различными методами для восстановления других свойств, – т.е. использование ПТФ с предиктором в виде ГСП (по ЛД и ПМ методам), остается. На рисунке 2 в виде Box&Whisker приведены данные по Кф, полученные экспериментально и рассчитанные по ПТФ на основании предикторов в виде ГСП по ПМ и ЛД методам. Изменения измеренных Кф были от 0 до 89 см/сут при среднем 29,09 см/сут и дисперсии 31,56 см/сут для суглинков и иловатых суглинков для слоев почвы 0-10 и 40-50 см. Хотя вариации расчетных значений Кф_пм были от до 39 см/сут, а для Кф_лд от 2 до 52 см/сут для иловатого суглинка, средние значения расчетного Кф_лд были близки при некотором превышении среднего значения расчетного Кф_лд величин Кф_пм они составля-

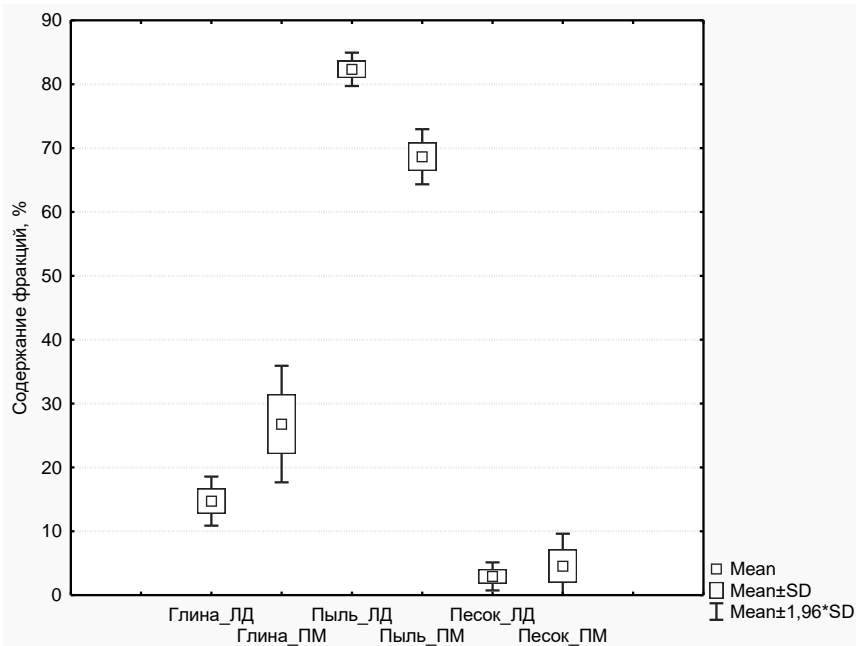


Рис. 1. Статистики фракций песка, пыли и глины, измеренных ПМ и ЛД

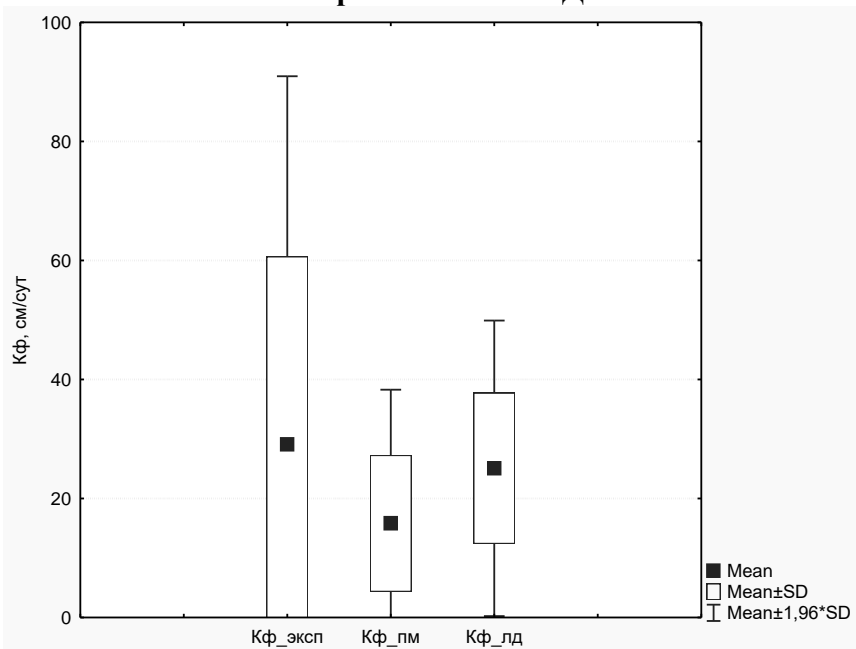


Рис. 2. Статистики экспериментальной насыщенной гидравлической проводимости (Кф_эксп) и рассчитанных из данных ГСП по ПМ (Кф_пм) и ЛД (Кф_лд) с использованием программы Rosette

зованием ПТФ, основанных на использовании фракций гранулометрического состава по программе Rosetta [7].

Таким образом, метод лазерной дифракции (ЛД) более эффективен для измерения фракции песка и пыли по сравнению с пипет-методом (ПМ). Оба метода дают в разных почвах систематические ошибки. Однако дисперсия фракций ГСП, измеряемая ПМ или ЛД, была незначительной и не меняла тип текстуры почвы. Результаты анализов ГСП в виде ЛД или ПМ могут быть использованы в качестве предикторов для прогнозного расчета насыщенной гидравлической проводимости по недотрансферным функциям (ПТФ), без каких-либо модификаций или пересчетов для суглинистых почв дерново-подзолистого типа почвообразования.

Литература

1. Шейн Е.В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций // Почвоведение, 2009, № 3. – С. 309-317.
2. Eshel G., Levy G.J., Mingelgrin U., Singer M.J. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle size distribution analysis // Soil Science Society of America Journal, 2004, Vol. 68. – PP. 736-743.
3. Шейн Е.В., Скворцова Е.Б., Панина С.С., Умарова А.Б., Романенко К.А. Гидродепозитарные и гидропроводящие свойства при моделировании влагопереноса в дерново-подзолистых почвах с помощью физически обоснованных моделей // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 2015, Вып. 80. – С. 71-82.
4. Buurman P., Pape Th., Reijneveld J.A., de Jong F., van Gelder E. Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial and loess samples // Netherlands Journal of Geosciences, 2001, 80. – PP. 49-57.
5. Теории и методы физики почв. Под ред. Е.В. Шейна и Л.О. Карпачевского. – М.: Гриф и Ко, 2007. – 616 с.
6. Klute A., Dirksen C. Hydraulic conductivity of saturated soils / In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. ASA & SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 1986. – PP. 694-700.
7. Schaap M.G., Leij F.J., van Genuchten M.T. ROSETTA: a computer program for Estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions // Journal of Hydrology, 2001, 251. – PP. 163-176.

ли соответственно 26,13 и 18,26 см/сут. Это связано с тем, что доля пыли, измеренная ЛД методом, была выше, чем измеренная ПМ, что и увеличивало расчетный Кф_лд. Рассчитанный R2 между измеренным Кф и расчетным Кф_пм составлял 0,94, что было выше, чем между измеренными Кф, а с расчетным Кф_лд (0,855), хотя различия при данных повторностях экспериментов недостоверны. Кроме того, значение средней квадратической ошибки расчетного Кф_лд было ниже расчетного Кф_пм. Это указывает на то, что ЛД метод при его невысоких ошибках измерения вполне может быть использован для прогнозирования гидрологических свойств почв с исполь-

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

А.П. Баранов, М.И. Лунев, д.б.н., Г.Е. Мерзлая, д.с.-х.н.
ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, e-mail: info@vniia-pr.ru

Дана экотоксикологическая оценка последствий внесения компостов на основе осадка сточных вод в почвах с разными свойствами. Внесение компостов обеспечило достоверное повышение урожайности возделываемых культур. По результатам биотестирования почв тест-культурами разных таксономических групп, а также по показателям жизнедеятельности микрофлоры, установлена хроническая токсичность, ограничивающая размножение почвенных организмов. Биотестирование почвы опыта в Вологодской области показало, что химический анализ не подходит для прогнозирования экотоксикологических рисков при внесении отходов, поскольку токсичность не коррелирует с величиной загрязнителя, присутствующего в отходах.

Ключевые слова: почва, осадки сточных вод, тяжелые металлы, хроническое загрязнение, биотестирование.

ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF FERTILIZER BASED ON SEWAGE SLUDGE BY THE BIOASSAY METHOD

A.P. Baranov, Dr.Sci. M.I. Lunev, Dr.Sci. G.E. Merzlaya
ARSRI for Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, e-mail: info@vniia-pr.ru

Ecotoxicological assessment of aftereffect of compost application on the basis of sewage sludge in soils with different properties is given. The composting provided a reliable increase in the yield of cultivated crops. However, based on the results of soil biotesting by test cultures of different taxonomic groups, and also on the indicators of vital activity of microflora, chronic toxicity is established for soil organisms that limits their reproduction. Soil biotesting from the experience in the Vologda region has shown that chemical analysis is not suitable for predicting ecotoxicological risks when introducing waste, since the toxicity does not correlate with the amount present in the pollutant waste.

Keywords: soil, sewage sludge, heavy metals, chronic pollution, bioassay.

Несмотря на неоспоримые выгоды от внесения органических отходов для получения высоких урожаев [1], практика постоянного применения удобрений на основе ОСВ может создать проблемы в отношении накопления загрязняющих веществ, которые будут иметь пагубные последствия для почвенных экосистем и, следовательно, противодействовать вкладу ОСВ в плодородие почв. Необходимо учитывать, что воздействие ОСВ на почвенные организмы определяется суммой разнонаправленных эффектов, когда негативное воздействие загрязнителей нивелируется большим количеством внесенного органического вещества. Однако органическое вещество ОСВ разлагается в течение года после внесения в почву на 20-35% [2], увеличивая токсическое действие накапливающихся загрязнителей. В тоже время эффект снижения почвенной токсичности для почвенных организмов в присутствии доступного и легкоусваиваемого органического питания отмечался достаточно часто [3, 4]. В связи с тем, что загрязнители в составе ОСВ являются труднорастворимыми или нерастворимыми соединениями, промытыми большим объемом сточ-

ной воды, их медленное накопление при постоянном внесении ОСВ должно стать объектом контроля за хронической токсичностью почвы.

Биотестирование – один из наиболее оперативных методов по определению накопления токсичности почвы, создаваемой большим спектром почвенных загрязнителей, действующих в совокупности и учитывающих их биодоступность [5].

Цель исследований – изучение влияния последствий внесения компостов на основе ОСВ на почвенные организмы на почвах разного гранулометрического состава и с разными агрохимическими показателями.

Материалы и методы. Полевые опыты по внесению компостов проводили в Московской и Вологодской областях. В Московской области опыт был проведен на опытном поле ЦОС ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой среднекультуренной почве со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса 1,95-2,08%, рН_{KCl} 5,8-6,0, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) 80-108 мг/кг почвы; К₂O 140-160 мг/кг почвы; ЕКО 17,0-

1. Химический состав компостов на основе ОСВ Москвы (1) и Вологды (2)

Компост ОСВ	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Сорг., %	Нобщ., %	P ₂ O ₅ , %	рН _{КСЛ}	Зола %
	мг/кг с.в.									
Компост (1)	425	1743	50	8	11	52,0	2,0	5,27	7,4	48,0
Компост (2)	107	406	28,0	1,44	0,9	67,0	2,0	0,9	6,3	33,2

2. Результаты биотестирования ОСВ (1) и ОСВ (2) на *Enchytraeus albidus*

Вид осадка	LD 50 (выживаемость)	ED 50 (репродуктивность)
	г/кг в.с. почвы OECD	
ОСВ (1)	43,5	5,7
ОСВ (2)	95,3	12,8

21,0 мг-экв/100 г почвы. В Вологодской области дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая почва имела следующую характеристику: рН_{КСЛ} 5,1, содержание гумуса 3,13%, P₂O₅ 215 мг/кг, K₂O 104 мг/кг, ЕКО – 20,4 мг-экв/100 г почвы.

Для оценки токсичности ОСВ Курьяновской станции очистных сооружений г. Москвы и станции очистных сооружений г. Вологда были отобраны образцы осадков и проведено их биотестирование с использованием искусственной почвы OECD (70% кварцевый песок, 20% каолиновая глина, 10% сфагновый торф, рН 6,5) по методике [6].

Для биотестирования почвы использованы тест-культуры *Enchytraeus albidus* (*Enchytraeidae* – семейство малощетинковых червей) и *Tetrahymena thermophile* (*Tetrahymena* – пресноводная ресничная инфузория). Почвенные образцы для биотестирования с использованием инфузорий готовили по методике [7]. Подсчет инфузорий *Tetrahymena thermophile* осуществляли с помощью автоматизированной системы БиоЛаТ [8]. Для оценки базального дыхания (БД) почвы использовали метод Головки [9]. Базальное дыхание почвы (2 г, 60% ПВ) определяли по скорости продуцирования CO₂ (22°C, 24 ч) и выражали в мкг CO₂-С/г почвы в час. Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после инкубации (22°C, 3 ч) почвы (2 г, 60% ПВ), обогащенной глюкозой (1% массы субстрата). Углерод микробной биомассы (С_{мик}) рассчитывали по формуле: С_{мик} (мкг С/г почвы) = (мкл CO₂/г час) x 40,04 + 0,37 [10, 11].

Результаты и обсуждение. Химический состав ОСВ содержит две группы поллютантов, тяжелые металлы и органические загрязнители, включающие поверхностно-активные вещества (ПАВ), полиароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД). Многочисленность загрязнителей, многофакторность их биодоступности для растений и почвенных организмов, непостоянство химических составов ОСВ определяют необходимость применения биотестирования при оценке рисков использования ОСВ для выращивания

сельскохозяйственных культур. Очень низкая растворимость органических загрязнителей обуславливает характер хронической токсичности осадка и выбор контактного метода биотестирования, в данном случае с использованием культуры энхитреид.

Данные таблицы 1 демонстрируют значительное преобладание ТМ в ОСВ городов. Помимо ТМ в странах Европы на законодательном уровне закреплён контроль за содержанием в ОСВ таких органических загрязнителей, как ПАВ, ПАУ, ПХБ, ПХДД. Уровни загрязнений ОСВ разных очистных сооружений показывают необходимость дифференциального подхода к определению доз внесения осадков под сельскохозяйственные культуры.

Учитывая значительное (5,27%) превышение содержания фосфора в компосте можно предположить высокое содержание ПАВ в составе органического вещества осадка, которые могут способствовать повышенной растворимости (биодоступности) других органических поллютантов. Взаимовлияние органических поллютантов с эффектом увеличения токсичности может быть оценено только в результате использования биологических методов оценки состояния почвы.

К разным токсикантам разные тест-культуры проявляют специфическую чувствительность. Поскольку основным загрязнителем ОСВ являются ТМ, в качестве тест-культуры в нашем исследовании использовали энхитреиды, обладающие высокой чувствительностью в отношении к хронической токсичности ТМ [3]. Расчетные величины токсичности в таблице 2 показывают, что уровень токсичности ОСВ 1 более чем в 2 раза превышает токсичность ОСВ 2 как по показателям выживаемости, так и размножения культуры энхитреид *Enchytraeus albidus*.

Показатели LD 50, определяемые как дозы, вызывающие 50% гибель организмов, указывают на более чем в 2 раза большую токсичность ОСВ (1). Величины токсичности по тест-реакциям размножения энхитреид значительно выше (сокращение репродуктивности на 50% вызывают дозы ОСВ 5,7 и 12,8 г/кг), что связано с большей чувствительностью данной тест-реакции. С учетом величин LD 50, пересчитанных на 1 га, 50% гибель энхитреид от ОСВ (1) и ОСВ (2) обусловят соответственно дозы ОСВ 65 и 140 т на почвах с уровнями биодоступности поллютантов, соответствующими искусственной почве OECD.

Биотестирование и определение активности микрофлоры образцов почвы из разных регионов показало, что выбор культур для биотестирования *Enchytraeus albidus* и *Tetrahymena thermophile* обус-

ловлен задачами установления хронической токсичности (контактный 6-недельный метод с энхитреидами) и острой токсичности (элюатный 2-суточный с инфузориями). Биотестирование с *Enchytraeus albidus* было проведено в соответствии с критериями достоверности, предъявляемыми к контролю по выживаемости, репродуктивности и коэффициенту вариации повторностей при определении размножения в контроле. Величина чувствительности культуры по модельному токсиканту (хлориду кадмия) составила LD50 – 37,6 ± 8,3 мг/кг почвы OECD (6).

На диаграмме выживаемости энхитреид (рис. 1) проиллюстрирована зависимость токсичности (оцениваемой по тест-реакции выживаемости) от доз внесенных компостов ОСВ на исследуемых почвах. Очевидно, что увеличение дозы ОСВ почти на порядок не изменило уровень выживаемости. Ни значительная разница доз в опытах, ни почвенная разность не влияли на проявление токсичности.

Однако реакция размножения энхитреид оказалась чувствительна как к почвенным условиям в контроле, так и величине доз ОСВ. Величина снижения репродуктивности в образцах почвы вологодского опыта (с 94,0 до 34,6, т.е. более 50%), по-видимому, связана с благоприятными почвенными условиями для размножения энхитреид и эффектом действия поллютанта, когда он попадает на большее количество организмов. Анализ химического состава компоста (табл. 1) показывает, что ни один загряз-

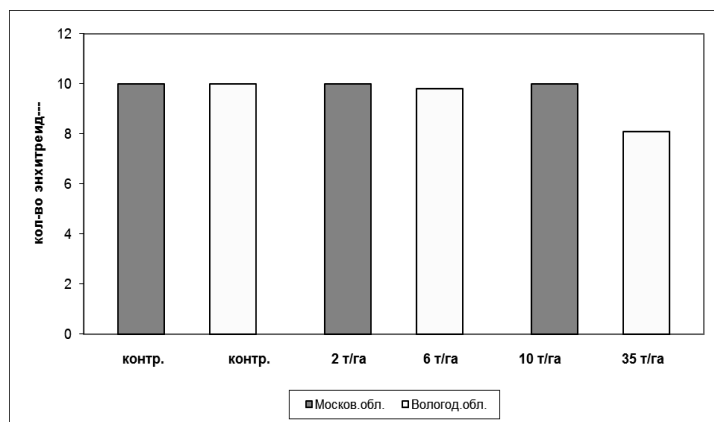


Рис. 1. Выживаемость *E. albidus* на почвах с разными дозами компостов ОСВ

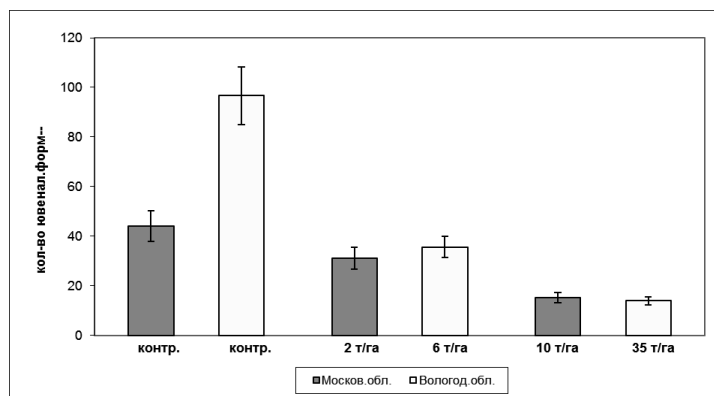


Рис. 2. Размножение *E. albidus* на почвах с разными дозами компостов ОСВ

3. Токсичность водных экстрактов почв для *Tetrahymena thermophile*

Вариант	Кэф. суточного роста культуры*
Московская обл.	
1. Контроль	1,71 ± 0,44
2. Компост ОСВ, 10 т/га	1,22 ± 0,28
3. Компост ОСВ, 35 т/га	1,11 ± 0,40
Вологодская обл.	
1. Контроль	1,69 ± 0,49
2. Компост ОСВ, 2 т/га	1,56 ± 0,34
3. Компост ОСВ, 6 т/га	1,50 ± 0,30

* отношение числа живых клеток начало биотестирования / конец биотестирования (через сутки)
Доверительный уровень – 005

нитель сам по себе не мог вызвать подобный токсический отклик. Это согласуется с оценкой применения химических методов анализа, которые не подходят для прогнозирования экологического риска сложного комплексного загрязнения по сравнению с биологическими.

Биотестирование на водных культурах служит обязательным методом контроля сточных вод. Оценка токсичности твердофазных отходов с помощью элюатных методов считается малоэффективной в силу слабой растворимости или сильной сорбции поллютантов ОСВ [12]. Тем не менее, данные таблицы 3 демонстрируют некоторое достоверное снижение суточного роста в экстрактах из образцов подмосковной почвы. Анализ состава ТМ компоста с ОСВ (1) не объясняет причины снижения суточного роста инфузорий, т.к. особенностью биотестирования ТМ с использованием инфузорий является очень низкая биодоступность [13]. Наиболее вероятной причиной такого ингибирования могут быть поверхностно-активные вещества группы нонилфенолов. Их концентрация коррелирует с содержанием фосфора (5,27% на с.в.) в ОСВ (1).

Развитие микробной биомассы и активность минерализации (базальное дыхание) служат важными показателями состояния почвы, связанными с процессами загрязнения. При одновременном попадании в почву органического вещества и загрязнителей происходит рост микробной массы и увеличивается базальное дыхание. Ограничителем процесса роста микробной массы служит уровень загрязнения в этой органической среде [14, 15]. Следовательно, биодоступность поллютантов, связанная с такими свойствами почвы, как рН, емкость катионного обмена, содержание глины и гранулометрический состав, будет влиять на состояние микрофлоры. С целью оценки влияния свойств почв и ОСВ на минерализацию почвы было проведено определение субстрат-индуци-

4. Базальное дыхание (БД), микробная масса (С_{мик}) и метаболический коэффициент (qCO₂) почв с разными дозами компостов ОСВ

Вариант	БД, мкг СО ₂ -С/г в час*	С _{мик} , мкг С/г почвы**	qCO ₂ , мкг СО ₂ -С/мг С _{мик} в час***
Московская обл.			
1.	0,52 ± 0,14	678 ± 65	0,76
2.	0,80 ± 0,07	461 ± 89	1,73
3.	0,89 ± 0,09	297 ± 37	2,96
Вологодская обл.			
1.	0,91 ± 0,09	597 ± 87	1,52
2.	1,19 ± 0,12	689 ± 112	1,72
3.	0,95 ± 0,18	789 ± 86	1,20

Примечание. Расшифровка вариантов дана в таблице 3.

рованного дыхания микроорганизмов. Согласно требованиям критерия достоверности, вариация повторностей в контроле не превышала 15%.

Данные таблицы 4 иллюстрируют сбой наращивание микробной массы в результате внесенного органического вещества компоста ОСВ (1). Высокий метаболический коэффициент микробной массы в вариантах с ОСВ (1) может быть связан с увеличением расхода энергии не только на рост, но и на поддержание жизнеспособности в критических условиях. Одним из объяснений стресса микрофлоры, выраженного как высокий метаболический коэффициент, могут быть остаточные количества аммонийного азота ОСВ, медленно высвобождающиеся в тяжелом суглинке места внесения ОСВ (1).

Литература

1. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их использование в агрикультуре / Под ред. Н.З. Милащенко. – М., 2002. – 140 с.
2. Putham, S., Houck C., Gallier W. Thomas utilization of sewage sludges // *Civ. Tnd. (USA)*, 1989, Vol. 3. – PP. 60-62.
3. Naimi J. Decomposer animals and bioremediation of soils // *Environm. Pollution*, 2000, Vol. 107. – PP. 233-238.
4. Филимонова Ж.В. Энхитреиды (*Oligochaeta*, *Enchytraeidae*) в биотестировании и контроле загрязнения почв: автореф. дисс. к.б.н. – М., 2000. – 24 с.
5. Терехова В.А. Биодиагностика почв: подходы и проблемы // *Почвоведение*, 2011, № 2. – С. 190-198.
6. Горшкова И.А., Гонгальский К.Б., Терехова В.А. Методика измерения токсичности почв по реакциям энхитреид. Федеральный реестр (ФР) ФР.1.39.2014.18039. – М.: MDMprint, 2014. – 24 с.
7. Методика определения токсичности отходов, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum Ehrenberg*. Федеральный реестр (ФР) ФР.1.39.2006.02.506. – М.: МГУ, 2006. – 35 с.
8. Черемных Е.Г., Покатаев А.С., Гридунова Н.В. Прибор для биологических исследований / Патент № 2361913. 18.10.2006.
9. Головкин Э.А. О методах изучения биологической активности торфяных почв / *Мат. научн. конф. по методам микробиол. и биохим. исследований почв*, Киев, 28-31 окт., 1971. – Киев, 1971. – С. 68-76.
10. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil biol. and biochem.*, 1978, Vol. 10. – PP. 314-322.
11. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. – М.: Наука, 2003. – 222 с.
12. Xanier Domene Casadesus. Methodologies using soil organisms for the ecotoxicological assessment of organic wastes. Department de Biologia Animal, Vegetal i Ecologia Universitat de Barcelona, 2007. – PP. 99-104.
13. Баранов А.П., Воронина Л.П., Лунев М.И. Биотестирование загрязненной ТМ почвы с использованием инфузорий // *Агрехимический вестник*, 2016, № 6. – С. 36-39.
14. Dar G.H. Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1997, Vol. 58. – P. 234-240.
15. Dar G.H., Mishra M.M. Influence of the cadmium on carbon and nitrogen mineralization in sewage sludge amended soils // *Environ. Pollut.*, 1994, Vol. 84. – P. 285-290.
16. Sloof W., van Oers J.A.M., de Zwart D. Margins of uncertainty in ecotoxicological hazard assessment // *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1986, Vol. 5. – PP. 841-852.
17. Versteeg D.J., Belanger S.E., Carr G.J. Understanding single-species and model ecosystem sensitivity: data-based comparison // *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1999, Vol. 18. – PP. 1329-1346.

Экотоксикологическая оценка почв с внесенными разными дозами и составами ОСВ показала ряд эффектов, которые можно квалифицировать как сублетальные для некоторых организмов. Необходимо иметь в виду, что величины опасных концентраций для одного вида почвенных организмов могут играть негативную роль на уровне сообществ и экосистем [16, 17].

Таким образом, оценка экологического риска внесения ОСВ показала большое значение свойств почвы для уровня токсичности, действующей на почвенные организмы. Дозы применения компостов ОСВ на легких почвах северных регионов с учетом воздействия на энхитреид (активных участников почвообразовательного процесса в северных регионах) следует ограничить уровнем 6-7 т/га.

Основными факторами, влияющими на токсичность, являются не тяжелые металлы, т.к. почвенные организмы могли быть ингибированы высоким содержанием аммиака и ПАВ. Подход, применяемый для установления доз ОСВ с учетом их химического состава, не вполне соответствует точности прогнозирования экотоксикологического риска, так как не учитывает факторов взаимодействия и биодоступности токсиантов в почве. Биотестирование – наиболее адекватный метод решения данной задачи.

МЕДЬ В АГРОЦЕНОЗАХ ЛЕСОСТЕПИ ЦЧО

С.В. Лукин, д.с.-х.н.

Центр агрохимической службы «Белгородский», e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

По результатам локального агроэкологического мониторинга, проводимого на реперных участках, и сплошного агрохимического обследования пахотных почв Белгородской области дана оценка содержания меди в почвах и растениеводческой продукции. Установлено, что среднее валовое содержание меди в пахотном слое черноземов лесостепной зоны составляет 13,1 мг/кг. С увеличением глубины почвенного профиля валовое содержание меди снижается. По результатам сплошного обследования 2010-2014 гг. установлено, что 96,8% пахотных почв Белгородской области характеризуются низкой обеспеченностью подвижными формами меди. Превышения ПДК подвижных форм элемента не наблюдалось. Основным источником поступления микроэлемента в агроценозы служат органические удобрения. В среднем за 2010-2013 гг. доза внесения органических удобрений составила 3,95 т/га, и с ней в агроценозы поступало 92,1% меди. Наиболее высокое содержание этого металла отмечалось в семенах подсолнечника (14,5 мг/кг) и в бобах сои (11,7 мг/кг), а наиболее низкое – в корнеплодах сахарной свеклы (2,13 мг/кг) и зерне кукурузы (2,56 мг/кг).

Ключевые слова: медь, микроэлементы, мониторинг, почва, растения, чернозем.

COPPER IN AGROCENOSES OF THE FOREST-STEPPE OF CENTRAL CHERNOZEM FEDERAL DISTRICT

Dr.Sci. S.V. Lukin

State Center of Agrochemical Service «Belgorodsky», e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

On results of local agroecological monitoring, carried out at reference sites, and a continuous agrochemical survey of arable soils of the Belgorod region has been conducted assessment of copper content in soils and crop production. It was established that the average gross copper content in the arable layer of chernozems in the forest-steppe zone is 13.1mg/kg. With an increase in the depth of the soil profile the total copper content decreases. According to the results of the continuous survey of 2010-2014, it was found that 96.8% of the arable soils of the Belgorod region are characterized by low availability of mobile forms of copper. Exceeding the MAC for mobile element forms was not observed. The main source of microelement supply to agrocoenosis is organic fertilizers. On average for 2010-2013 the dose of organic fertilizer application was 3.9 t/ha, and 92.1% of copper came from agrocoenosis to the agrocoenosis. The highest content of this metal was observed in sunflower seeds (14.5 mg/kg) and in soybeans (11.7 mg/kg), and the lowest in sugar beet roots (2.13 mg/kg) and corn kernels (2.56 mg/kg).

Keywords: copper, microelements, monitoring, soil, plants, chernozem.

Медь – один из важнейших биологически значимых и незаменимых микроэлементов. Однако, в зависимости от концентрации медь может выступать в роли биоактиватора, либо в роли токсичного для живых организмов элемента. В растениях медь служит составной частью окислительных ферментов (полифенолоксидазы, аскорбиноксидазы, дегидрогеназы), большая ее часть сосредоточена в хлоропластах и тесно связана с процессами фотосинтеза. Под действием этого элемента повышается устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды: высоким и низким температурам, засухам, поражению грибковыми и бактериальными заболеваниями [1-6]. Внесение высоких доз азотных

удобрений увеличивает потребность растений в меди и способствует усилению симптомов медной недостаточности [1]. При повышенных концентрациях медь является опасным фитотоксикантом и вызывает медьиндуцированный хлороз, поражение корневой системы, отравление растений, сопровождающееся снижением активности и биосинтеза некоторых ферментов, что приводит к ухудшению качества продукции и уменьшению урожайности. По негативному действию на растения медь занимает одно из первых мест среди наиболее токсичных тяжелых металлов. Например, фитотоксичная концентрация меди в травах, приводящая к снижению урожайности на 50%, составляет более 20 мг/кг, в то время как

для свинца – более 60, для кадмия – более 100, для цинка – более 400 мг/кг сухой массы [7].

Цель работы – агроэкологическая оценка содержания меди в пахотных почвах и растениеводческой продукции на примере лесостепной зоны Белгородской области, входящей в Центральную Черноземные области России (ЦЧО).

Условия, материалы и методы. В работе использованы материалы локального агроэкологического мониторинга, проводимого на 20 реперных участках, и сплошного агрохимического обследования пахотных почв Белгородской области, проведенного в 2010-2014 гг. на площади 1244,58 тыс. га. Реперные объекты представляют собой поле или участок поля площадью 4-40 га [8]. Почвенный покров реперных участков представлен преобладающими в лесостепной зоне области почвами: черноземами типичными и черноземами выщелоченными. В слое 0-20 см среднее содержание подвижного фосфора по Чирикову составляло 139 мг/кг, подвижного калия по Чирикову – 119 мг/кг, органического вещества по Тюрину – 5,3%. В слое 0-20 см рН_{H2O} составляла 6,4; в слое 21-40 см – 6,6; в слое 41-60 см – 7,0; в слое 61-80 см – 7,4; в слое 81-100 см – 7,6.

Валовое содержание меди в почве определяли по общепринятой в агрохимической службе методике [9], содержание подвижных форм меди – по ГОСТ Р 50683-94. Для извлечения элемента из почвы использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (ААБ) с рН 4,8. Определение содержания меди в растениеводческой продукции проводили в соответствии с ГОСТ 30692-2000.

При статистической обработке результатов проводили расчеты доверительного интервала для

среднего значения ($\bar{x} \pm t_{05}S$) и коэффициента вариации (V, %) с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Медь в почве находится в нескольких формах: водорастворимой; обменной, поглощенной органическими и минеральными коллоидами; труднорастворимой; медьсодержащих минералов; металлоорганических соединений [10, 11]. Лишь очень небольшое количество (менее 1%) меди находится в почве в виде водорастворимых солей. Медь – элемент биогенной аккумуляции. Коэффициент биологического поглощения этого элемента степной целинной растительностью составляет 5,7 [12, 13].

Кларк меди в земной коре равен 47 мг/кг, в почвах – 20 мг/кг [14]. Средние фоновые концентрации меди колеблются в пределах 6-100 мг/кг, достигая максимума в ферраллитных почвах и минимума – в песчаных. К факторам, увеличивающим количество элемента в почве, относятся: высокое содержание минералов тяжелой фракции, обилие коллоидов, наличие органического вещества. Валовое содержание меди в пахотном горизонте темно-серых лесных почв Центрального Черноземья составляет в среднем 14,6±0,7, черноземах оподзоленных – 16,0±0,6, черноземах выщелоченных – 19,0±0,9, черноземах типичных – 23,0±0,4 мг/кг [10].

Содержание меди в гумусово-аккумулятивном горизонте заповедных почв Белгородской области (черноземах типичных и выщелоченных, темно-серой лесной почве) находится примерно на одном уровне – 14,2-14,3 мг/кг [12]. С глубиной почвенного профиля валовое содержание меди в почвах снижалось (табл. 1).

1. Содержание меди в почвах Государственного природного заповедника «Белогорье»

Горизонт	Мощность горизонта, см	Глубина отбора проб, см	Валовое содержание, мг/кг	Содержание подвижных форм, мг/кг
Темно-серая лесная (участок «Лес на Ворскле»)				
A ₁ /A ₂	0-20	5-15	14,2	0,17
A ₂ B	21-34	22-32	13,0	0,15
B ₁	35-56	40-50	13,4	0,15
B ₂	57-70	58-68	12,5	0,07
BC _{ca}	71-113	90-100	12,2	0,08
C _{ca}	114-150	125-135	12,5	0,19
Чернозем выщелоченный мощный тучный (участок «Ямская степь»)				
A ₁	7-45	10-20	14,3	0,19
AB	46-68	50-60	13,0	0,15
B	69-90	70-80	12,6	0,12
BC	91-120	100-110	12,0	0,19
C	121-165	140-150	12,9	0,26
Чернозем типичный мощный тучный (участок «Ямская степь»)				
A ₁	7-47	10-20	14,3	0,24
		30-40	14,3	0,22
AB _{ca}	48-75	55-65	13,2	0,27
B _{ca}	76-98	80-90	12,4	0,11
BC _{ca}	99-120	105-115	12,2	0,11
C _{ca}	121-165	150-160	11,5	0,33

2. Вариационно-статистические показатели валового содержания и концентрации подвижных форм меди в пахотных почвах реперных участков, мг/кг

Глубина, см	$\bar{x} \pm t_{055}$	lim	V, %
Валовое содержание			
0-20	13,1±1,03	9,0-16,7	16,8
21-40	13,1±1,06	8,7-16,7	17,3
41-60	12,3±1,05	8,3-16,4	18,3
61-80	11,6±1,14	7,7-16,4	21,0
81-100	11,0±1,13	7,6-15,8	21,9
Содержание подвижных форм			
0-20	0,12±0,01	0,09-0,16	16,9
21-40	0,11±0,01	0,07-0,16	22,5
41-60	0,09±0,01	0,03-0,16	34,6
61-80	0,14±0,03	0,04-0,23	40,7
81-100	0,18±0,02	0,11-0,29	27,1
Примечание: в каждом слое почвы анализировали 20 проб с разных реперных участков.			

На основе данных локального мониторинга было установлено, что валовое содержание меди в пахотном слое почв области составляет 13,1±1,0 мг/кг. Данное значение практически совпадает со средневзвешенным содержанием, установленным по результатам сплошного обследования (13,5 мг/кг), и несколько ниже кларка этого металла в почвах. Запасы валовой меди в пахотном слое составляют 40,5 кг/га. Для черноземных почв характерна биогенная аккумуляция меди в верхних горизонтах, обусловленная ее способностью образовывать с органическим веществом внутрикомплексные соединения. Как правило, в профиле черноземов количество меди прямо коррелирует с количеством гумуса и обменных катионов, обратно коррелирует с величиной pH [13]. Минимальное валовое содержание меди отмечалось в слое 81-100 см (табл. 2).

Для оценки обеспеченности медью сельскохозяйственных культур в почве определяют содержание ее подвижных форм. Фоновое содержание подвижных форм меди в верхнем горизонте черноземов типичных и выщелоченных заповедного участка «Ямская степь» составляет, соответственно 0,24 и 0,19 мг/кг, а в темно-серой лесной почве заповедного участка «Лес на Ворскле» – 0,17 мг/кг. Концентрация подвижных форм меди в пахотном слое почв реперных участков в среднем составляет 0,12±0,01 мг/кг. Минимальное содержание подвижной меди отмечалось в слое 41-60 см, а максимальное – в слое 81-100 см. Одним из наиболее значимых параметров, определяющих закономерности распределения подвижных форм элементов по почвенному профилю, является значение pH почвенного раствора. В черноземах идет закономерная смена реакции среды с глубиной. На глубине 40-60 см (на границе горизонтов А и В) про-

исходит резкое изменение значения величины рН_{KCl} (с 5,5 до 6,0), что приводит к снижению подвижности большинства микроэлементов. Однако в глубоких карбонатных горизонтах почвы в сильно щелочной среде растворимость некоторых микроэлементов, обладающих амфотерными свойствами, может увеличиваться [10]. Доля подвижных форм меди составляет 0,7-1,6% от валового количества и с увеличением глубины почвенного профиля повышается.

В 2010-2014 гг. проводили сплошное обследование пахотных почв Белгородской области на содержание подвижных форм меди. Установлено, что 96,9% обследованной пашни относится к категории низкообеспеченной, 3,0% – к среднеобеспеченной и только 0,1% – к высокообеспеченной по содержанию подвижных форм меди. Причины низкой обеспеченности пахотных почв региона подвижными формами меди объясняется ее низким фоновым содержанием и отрицательным балансом в земледелии, который наблюдался в Белгородской области на протяжении достаточно длительного времени. Например, в 2000-2007 гг. интенсивность баланса меди составляла всего 36,0% [15].

Средневзвешенное содержание подвижной меди в пахотных почвах области составляет 0,114 мг/кг. Наиболее высокое содержание отмечено в почвах Красненского (0,145 мг/кг) и Алексеевского (0,143 мг/кг) районов, а наиболее низкое – в почвах Валуйского (0,080 мг/кг) и Ивнянского (0,071 мг/кг) районов (табл. 3). Предельно допустимая концентрация (ПДК) подвижных форм меди в почвах составляет 3 мг/кг. Почв с превышением этого норматива ПДК в период исследования не выявлено.

В регионах России достаточно много пахотных почв испытывают недостаток в подвижных формах меди. Например, в Московской области 13,8% почв низко обеспечены этим микроэлементом, в Брянской – 20%, в Тамбовской – 100% [16-18].

Основным источником поступления меди в агроценозы служат органические удобрения. Среднее содержание меди в основных органических удобрениях составляет: стоки навозные (2,22% сухого вещества) – 8,2 мг/кг; компост соломопометный (56% сухого вещества) – 151 мг/кг; навоз КРС (25% сухого вещества) – 5,7 мг/кг; дефекат сахарных заводов (87% сухого вещества) – 8,4 мг/кг. Минеральные удобрения содержат мало меди. Ее содержание в аммиачной селитре составляет 0,36 мг/кг, в азофоске – 1,71 мг/кг. Ежегодные средние размеры поступления меди в агроценозы Белгородской области за 2010-2013 гг. оцениваются в 42,9 г/га, в том числе с органическими удобрениями (доза 3,95 т/га) – 39,5 г/га (92,1%), с минеральными – всего 0,3 г/га (0,7%), с мелиорантами – 2,6 г/га (6,1%), с семенами – 0,5 г/га (1,1%) [12, 13].

3. Распределение почв пашни Белгородской области по содержанию подвижных форм меди (2010-2014 гг.), % от обследованной площади

Район	Содержание подвижных форм меди, мг/кг			Средневзвешенное содержание, мг/кг
	низкое < 0,2	среднее 0,21-0,5	высокое > 0,5	
Красненский	84,2	14,8	1,0	0,145
Алексеевский	92,0	7,8	0,2	0,143
Губкинский	94,9	5,1	0,0	0,137
Прохоровский	97,8	2,2	0,0	0,132
Волоконовский	92,7	6,8	0,5	0,131
Вейделевский	96,5	3,3	0,2	0,128
Краснояржский	96,8	3,2	0,0	0,127
Ракитянский	98,9	1,1	0,0	0,118
Новооскольский	97,6	1,9	0,5	0,116
Ровеньский	96,7	3,3	0,0	0,115
Белгородский	99,0	1,0	0,0	0,110
Грайворонский	97,2	2,8	0,0	0,108
Чернянский	97,9	2,1	0,0	0,106
Шебекинский	99,0	1,0	0,0	0,106
Яковлевский	98,1	1,9	0,0	0,103
Старооскольский	98,8	1,2	0,0	0,101
Корочанский	99,7	0,3	0,0	0,098
Красногвардейский	99,5	0,5	0,0	0,093
Борисовский	100,0	0,0	0,0	0,085
Валуйский	98,9	1,0	0,1	0,080
Ивнянский	99,7	0,3	0,0	0,071
В среднем по области	96,9	3,0	0,1	0,114

Количество меди в растениях зависит от особенностей культур, органов растений, условий выращивания и находится в интервале 1,5-31,0 мг/кг сухого вещества. Содержание этого элемента у одного и того же вида растений при выращивании на разных почвах различается в 2-8 раз. Больше меди находится в листьях и семенах, меньше – в корнях и совсем мало – в стеблях. Этот металл в растениях не реутилизируется [1, 3].

Фоновое содержание меди в основных сельскохозяйственных культурах, возделываемых на ре-

перных объектах области, представлено в таблице 4. Наиболее высокое содержание отмечалось в семенах подсолнечника (14,5 мг/кг) и в бобах сои (11,7 мг/кг), а наиболее низкое – в корнеплодах сахарной свеклы (2,13 мг/кг) и зерне кукурузы (2,56 мг/кг). Среднее содержание элемента в степном разнотравье целины составило 5,2 мг/кг. Содержание меди в основной продукции озимой пшеницы, ячменя, сои, подсолнечника, белого люпина и гороха было выше, чем в побочной. Для сахарной свеклы и кукурузы была характерна обратная зави-

4. Вариационно-статистические показатели содержания меди в растениях, мг/кг абсолютно сухого вещества

Культура		n	$\bar{x} \pm t_{05} \bar{x}$	lim	V, %
Сахарная свекла	корнеплоды	20	2,13±0,33	1,23-3,19	32,8
	ботва	20	3,72±0,66	1,60-5,30	37,0
Озимая пшеница	зерно	25	3,62±0,12	3,19-4,20	8,1
	солома	25	1,07±0,15	0,67-1,8	34,1
Ячмень	зерно	40	3,19±0,19	1,52-4,70	19,8
	солома	40	1,70±0,18	0,72-2,59	32,7
Горох	бобы	22	3,85±0,33	1,88-4,79	19,6
	солома	22	2,55±0,31	1,09-4,00	27,5
Белый люпин	бобы	20	5,93±0,65	3,03-8,18	23,4
	солома	20	1,94±0,13	1,39-2,58	14,6
Кукуруза	зерно	21	2,56±0,39	1,63-3,94	27,5
	солома	21	4,40±0,85	2,31-6,76	34,9
Соя	бобы	22	11,7±0,4	8,30-12,9	7,7
	солома	22	3,58±0,10	3,00-4,12	6,7
Подсолнечник	семена	20	14,5±1,6	6,02-17,1	27,4
	стебли	20	3,10±0,15	2,18-3,57	11,7
Степное разнотравье		20	5,20±0,05	5,07-5,38	2,2

симость. Содержание меди в пищевой продукции не нормируется. Превышения максимально допустимых уровней (МДУ) содержания элемента в кормовой продукции никогда не фиксировалось.

В среднем за последние пять лет (2012-2016 гг.) урожайность (при стандартной влажности) наиболее распространенных на территории области сельскохозяйственных культур составила: сахарной свеклы – 43,3 т/га, озимой пшеницы – 4,11; кукурузы на зерно – 6,04; ячменя – 3,13; сои – 1,89; подсолнечника – 2,45 т/га, а вынос меди с хозяйственно ценной частью урожая этих культур составил соответственно 23,0 г/га; 12,8; 13,3; 8,6; 19,0 и 30,6 г/га.

Таким образом, по результатам локального мониторинга установлено, что среднее валовое содержание меди в пахотном слое черноземов лесостепной зоны ЦЧО составляет 13,1 мг/кг. С увеличением глубины почвенного профиля ва-

ловое содержание меди снижается. По результатам сплошного обследования 2010-2014 гг. установлено, что 96,8% пахотных почв Белгородской области характеризуются низкой обеспеченностью подвижными формами меди. Превышения ПДК подвижных форм элемента не наблюдалось.

Основным источником поступления меди в агроценозы Белгородской области служат органические удобрения. В среднем за 2010-2013 гг. доза внесения органических удобрений составила 3,95 т/га, и с ней в агроценозы поступало 92,1% меди от общего количества. Наиболее высокое содержание этого металла отмечалось в семенах подсолнечника (14,5 мг/кг) и в бобах сои (11,7 мг/кг), а наиболее низкое – в корнеплодах сахарной свеклы (2,13 мг/кг) и зерне кукурузы (2,56 мг/кг).

Литература

1. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.
2. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. – М.: Наука, 1980. – 430 с.
3. Власюк П.А. Участие микроэлементов в обмене веществ растений / Биологическая роль микроэлементов. – М.: Наука, 1983. – С. 97-105.
4. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
5. Спицина С.Ф. Экологическая целесообразность применения микроэлементов в Алтайском крае // Агрохимический вестник, 2005, № 5. – С. 2-3.
6. Булыгин С.Ю., Демишев Л.Ф., Доронин В.А. и др. Микроэлементы в сельском хозяйстве. – Днепропетровськ: «Січ», 2007. – 100 с.
7. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 430 с.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: МСХ, 1992. – 53 с.
9. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных и контрольных участках / В.Г. Сычев, А.В. Кузнецов, А.В. Павлихина и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 76 с.
10. 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: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. – 368 с.
11. Панасин В.И. Мониторинг микроэлементного состояния агроэкосистем // Агрохимический вестник, 2014, № 4. – С. 18-21.
12. Лукин С.В., Хижняк Р.М. Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземной области // Агрохимия, 2015, № 8. – С. 64-72.
13. Хижняк Р.М. Экологическая оценка содержания микроэлементов (Zn, Cu, Co, Mo, Cr, Ni) в агроэкосистемах лесостепной зоны юго-западной части ЦЧО: автореф. дисс. к.б.н. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. – 24 с.
14. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 259 с.
15. Меленцова С.В. Агроэкологическая оценка содержания химических элементов (S, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb) в почвах лесостепной и степной зон (на примере Белгородской области): автореф. дисс. к.б.н. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – 22 с.
16. Курганова Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 320 с.
17. Прудников П.В. Состояние почвенного плодородия в Брянской области // Агрохимический вестник, 2003, № 5. – С. 5-8.
18. Юмашев Н.П., Трунов И.А. Почвы Тамбовской области. – Мичуринск-Наукоград РФ: Изд-во Мичуринского государственного аграрного университета, 2006. – 216 с.

АГРОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ВАНАДИЯ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

¹В.И. Панасин, д.с.-х.н., ¹Р.Г. Уютов, ²Д.А. Рымаренко, к.б.н.

¹Калининградский государственный технический университет, e-mail: romiou@mail.ru

²Центр агрохимической службы «Калининградский», e-mail: agrohim_39@mail.ru

Определено содержание подвижных соединений ванадия в аллювиальных дерновых и аллювиально-болотных органогенных почвах. Установлена прямая связь между содержанием частиц физической глины и подвижного ванадия в аллювиальных дерновых почвах. Выявлена нелинейная связь между некоторыми характеристиками кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса и содержанием подвижного ванадия в аллювиальных дерновых и аллювиально-болотных почвах. Сделано предположение о различии механизмов сорбции соединений ванадия в минеральных и органогенных почвах.

Ключевые слова: ванадий, аллювиальные почвы, корреляционная зависимость, кислотно-основные свойства, Калининградская область.

AGROCHEMICAL ASPECTS OF MOBILE VANADIUM DISTRIBUTION IN THE ALLUVIAL SOILS OF THE KALININGRAD REGION

¹Dr.Sci. V.I. Panasin, ¹R.G. Uyutov, ²PhD. D.A. Rymarenko

¹Kaliningrad State Technical University, e-mail: romiou@mail.ru

²State Center of Agrochemical Service «Kaliningradskiy», e-mail: agrohim_39@mail.ru

Determined the content of mobile compounds of vanadium in soddy-alluvial and alluvial-marsh organic soils. A direct relationship between the content of particles of physical clay and rolling of vanadium in alluvial sod soils. Revealed a nonlinear relationship between some characteristics of acid-base properties of the soil absorption complex and a content of mobile vanadium in soddy-alluvial and alluvial-marsh soils. The assumption is made about the difference of mechanisms of sorption of compounds of vanadium in the mineral and organogenic soils.

Keywords: vanadium, alluvial soils, correlation, acid-base properties, Kaliningrad region.

К настоящему времени накоплен весьма обширный материал о зависимости валового содержания большинства микроэлементов, концентрации их подвижных соединений от минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород и свойств почв [1-4]. Однако по содержанию подвижных соединений ванадия в интразональных почвах информации недостаточно. Известно, что ванадий может замещать молибден в составе ферментативных систем, регулирующих фиксацию азота как у свободноживущих, так и у симбиотических микроорганизмов [1, 5], при этом стимулирующее действие ванадия проявляется при недостатке подвижных соединений молибдена, что особенно актуально для земледелия Калининградской области в связи с повсеместной крайне недостаточной обеспеченностью почв региона подвижным молибденом [4]. Эффективность применения ванадиевых микроудобрений как отдельно, так и совместно с молибденовыми под кормовые культуры, особенно с бобовым компонентом, а также под свеклу и ячмень на аллювиальных и торфяных почвах хорошо изучена в Нечерноземной зоне России, Белоруссии и Болгарии [6-8]. На территории Калининград-

ской области ранее были исследованы некоторые закономерности накопления подвижных соединений ванадия в гумусово-аккумулятивных горизонтах дерново-подзолистых почв [9], однако по аллювиальным дерновым и аллювиально-болотным почвам до настоящего времени исследований не проводилось.

Цель исследований – изучить содержание подвижных соединений ванадия в аллювиальных минеральных и органогенных почвах, выявить зависимость аккумуляции подвижных соединений ванадия от кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса.

Методика. Объектами исследования были аллювиальные дерновые почвы различной степени оглеения и аллювиально-болотные иловато-перегнойно-глеевые, торфянисто-глеевые на древнеаллювиальных, флювиогляциальных отложениях или на погребенном торфе. Аллювиальные минеральные почвы расположены в пойме среднего течения реки Преголя, в пойме низовой реки Лава и в пойме реки Дейма. Почвы имеют полноглоценовый возраст, отложение аллювия и формирование почвообразующих пород началось в пребореальную эпоху. Верхние горизон-

ты сформированы в историческое время, относительно интенсивное накопление аллювия происходило в эпоху «малого ледникового периода». В выборку аллювиальных минеральных почв вошли песчаные, супесчаные, легко-, средне- и тяжелосуглинистые. По кислотности исследованные почвы относятся к четырем группам – от сильнокислых до близких к нейтральным. Средняя величина pH_{KCl} составляет 4,9. По содержанию органического вещества большинство почв относится к хорошо обеспеченным гумусом – среднее содержание органического вещества в пересчете на гумус – 4,8%, минимальное значение – 1,96, максимальное – 12,05%.

Основной массив аллювиальных болотных почв находится на территории Куршской низменности, часть – в пониженных местах пойм рек Преголя и Дейма. Почвы Куршской низменности относительно молоды, их современный облик не старше середины суббореальной эпохи. Основной массив аллювиальных болотных почв располагается в пониженной западной и центральной частях Куршской низменности. Абсолютные отметки высот не превышают 2 м над уровнем моря, часть территории расположена ниже уровня моря. Мощность торфяной залежи от 40-50 см до нескольких метров. Подстилающие породы чаще всего представлены древнеаллювиальными песками и супесями, реже – валунными суглинками. Иногда под древнеаллювиальными отложениями находится погребенный торф.

По кислотности в выборку вошли почвы от среднекислых до нейтральных, среднеарифметическая величина pH_{KCl} составила 5,32, минимальное значение – 4,4, максимальное – 6,9.

Образцы почв отбирали по ГОСТ 28168-89, в почвенных образцах определяли: гранулометрический состав – по Качинскому; содержание органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия и железа; суммы поглощенных оснований, pH и гидролитическую кислотность – по принятым в агрохимической службе стандартным гостированным методикам, степень насыщенности оснований – расчетным методом. Подвижные соединения ванадия извлекали оксалатным буферным раствором Григга при pH 3,3. Содержание ванадия определяли по Виноградову в модификации Добрицкой [10].

Статистическую обработку результатов проводили по Доспехову [11] с использованием программы Microsoft Excel. Рассчитывали коэффициенты линейной корреляции (r) между содержанием подвижного ванадия и другими физическими и агрохимическими свойствами почв. Полученные значения оценивали по t -критерию Стьюдента на 5, 1 и 0,1% уровне значимости. Для уточнения формы зависимости между изучаемыми величинами рассчитывали также корреляционное отношение (η), достоверность которого проверяли аналогично коэффициенту линейной корреляции. Нелинейность

связи, то есть существенность различий между значениями r и η устанавливали по критерию Фишера на 5 и 1% уровне значимости.

Результаты и обсуждение. Для выявления форм связи и зависимости содержания подвижного ванадия от органического вещества и кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса на первом этапе все разновидности аллювиальных почв были объединены в одну группу. Анализ общей выборки показал, что среднее содержание ванадия в аллювиальных почвах составляет $14,4 \pm 4,37$ мг/кг на 1% уровне значимости или $14,4 \pm 3,25$ мг/кг на 5% уровне значимости. Это существенно выше, чем содержание подвижного ванадия в аккумулятивных горизонтах дерново-подзолистых окультуренных почв ($6,0 \pm 1,33$ мг/кг [9]). Коэффициент линейной корреляции между содержанием органического вещества и подвижного ванадия ($r = +0,34 \pm 0,178$) оказался статистически недостоверен. Корреляционное отношение ($\eta = 0,71 \pm 0,133$) достоверно на 0,1% уровне значимости. Таким образом, между содержанием подвижного ванадия и органического вещества существует стохастическая нелинейная связь. Формы связи ванадия с гумусовыми веществами определяются окислительно-восстановительным потенциалом, обуславливающим термодинамическую устойчивость соединений трех- или четырехвалентного ванадия, содержанием и составом минеральных коллоидов в аллювиально-дерновых почвах, а также кислотно-основными свойствами почв. Последние, в силу амфотерности VO_2 , обуславливают в зависимости от pH преимущественное накопление катионных или анионных производных четырехвалентного ванадия.

Между величиной pH_{KCl} и содержанием подвижного ванадия наблюдается положительная линейная корреляционная связь ($r = +0,55 \pm 0,157$), достоверная на 1% уровне значимости. Корреляционное отношение между этими величинами составляет $0,74 \pm 0,121$, достоверно на 0,1% уровне значимости. По критерию Фишера нелинейность значима на пятипроцентном уровне, но недостоверна на однопроцентном уровне значимости ($F_{05} = 2,56$; $F_{01} = 3,76$; $F_{факт} = 3,25$).

Нелинейность зависимости содержания подвижного ванадия от pH_{KCl} косвенно подтверждается формой связи с другими характеристиками кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса. Между емкостью катионного обмена и содержанием подвижного ванадия линейная корреляция недостоверна ($r = +0,29$), тогда как корреляционное отношение достоверно на 0,1% уровне значимости и составляет $0,66 \pm 0,142$. Различие между корреляционным отношением и коэффициентом линейной корреляции существенно ($F_{05} = 2,56$, $F_{факт} = 2,86$). Сходная закономерность прослеживается по зависимости содержания подвижного ванадия от суммы поглощенных оснований – коэффициент ли-

нейной корреляции мал и статистически недостоверен ($r = +0,33 \pm 0,18$), хотя корреляционное отношение существенно при 1% уровне значимости ($\eta = 0,53 \pm 0,16$; $t_{\text{факт}} = 3,31$, $t_{01} = 2,76$). Между степенью насыщенности основаниями и содержанием подвижного ванадия зависимость статистически достоверна и существенно нелинейна ($r = +0,22$; $\eta = 0,69 \pm 0,137$; $t_{\text{факт}} = 5,04$, $t_{001} = 3,67$; $F_{\text{факт}} = 6,79$, $F_{01} = 4,57$). Таким образом, многообразие валентных состояний ванадия и амфотерность его четырехвалентных производных обуславливает нелинейность зависимости содержания подвижных соединений V от кислотно-основных свойств почв. Причиной этого, по-видимому, является различие механизмов связывания соединений трех- и четырехвалентного ванадия почвенным поглощающим комплексом.

Так как ванадий является элементом пятой группы, то можно предположить определенное сходство условий накопления подвижных соединений ванадия и фосфатов. Линейная корреляция между подвижными соединениями ванадия и P_2O_5 относительно мала и недостоверна ($r = +0,32 \pm 0,18$), тогда как корреляционное отношение существенно при 1% уровне значимости ($\eta = 0,53 \pm 0,16$). Возможно, условия накопления подвижных фосфатов – относительно повышенный окислительно-восстановительный потенциал при близкой к нейтральной реакции почвенных растворов – совпадают с условиями существования соединений ванадия в форме анионных производных V(IV), тогда как кислая среда и низкие значения окислительно-восстановительного потенциала делают устойчивыми катионные производные трехвалентного ванадия.

Для корректного установления закономерностей содержания подвижных соединений ванадия от свойств почв мы провели расчеты отдельно по минеральным и органогенным почвам. Среднее содержание подвижного ванадия в аллювиальных минеральных почвах составило $9,7 \pm 1,04$ мг/кг, коэффициент вариации – 59%. В минеральных почвах прослеживается зависимость накопления подвижного ванадия от гранулометрического состава (табл. 1).

Между гранулометрическим составом и содержанием подвижного ванадия установлена положительная линейная корреляция ($r = +0,60 \pm 0,23$), это значение несколько выше установленного нами для дерново-подзолистых почв ($r = +0,51 \pm 0,10$ [7]), однако различия статистически недостоверны. Корреляционное отношение между содержанием частиц физической глины и подвижного V несколько выше ($\eta = 0,69 \pm 0,21$; ($t_{\text{факт}} = 3,33$; $t_{05 \text{ табл}} = 3,05$), но различие между r и η статистически недостоверно.

Как и для общей выборки аллювиальных почв, между содержанием подвижного ванадия и величиной pH_{KCl} существует определенная зависимость (табл. 2).

Коэффициент линейной корреляции между pH_{KCl} и подвижным ванадием мал по абсолютной

величине и статистически недостоверен ($r = +0,07$). Однако корреляционное отношение $\eta = 0,55 \pm 0,24$ достоверно на 5% уровне значимости ($t_{\text{факт}} = 2,29$, $t_{05 \text{ табл}} = 2,18$). Минимум содержания подвижного ванадия при pH_{KCl} 4,7-4,9 может быть, на наш взгляд, обусловлен осаждением и необменной химической адсорбцией соединений четырехвалентного ванадия вблизи от изоэлектрической точки $VO_2(OH)_2$. Не исключено также окисление соединений ванадия при близких к нейтральным значениям pH до производных V^{+5} , подвижность которых гораздо выше.

В кислой среде поглощение ванадия в какой-то степени происходит по механизму катионного обмена, на что, на наш взгляд, может иллюстрировать зависимость содержания подвижного ванадия от суммы поглощенных оснований. Коэффициент линейной корреляции между этими параметрами близок к нулю и недостоверен ($r = +0,08$), а корреляционное отношение существенно на 1% уровне значимости ($\eta = 0,73 \pm 0,20$). Существенная нелинейность связи возникает, на наш взгляд, вследствие различий в механизмах сорбции восстановленных и окисленных производных V в условиях слабокислой и нейтральной среды. Преобладание в выборке кислых почв, в которых термодинамически стабильны восстановленные соединения ванадия, обуславливает существенную ($r = +0,74 \pm 0,22$) корреляцию между подвижным V и извлекаемым 0,1н сернокислотной вытяжкой железом.

1. Содержание подвижного ванадия в почвах разного гранулометрического состава, мг/кг

Гранулометрический состав	x	Sx	V, %
Песок	3,5	0,40	16,2
Супесь	7,0	2,19	37,9
Легкий суглинок	7,2	2,67	64,3
Средний суглинок	9,8	1,00	14,1
Тяжелый суглинок	15,3	4,64	46,4

x – среднее значение, Sx – ошибка среднего, V – коэффициент вариации.

2. Зависимость содержания подвижного ванадия (мг/кг) в аллювиальных дерновых почвах от величины pH_{KCl}

pH_{KCl}	x	Sx	V, %
< 4,6	12,3	2,72	49,3
4,6-5,0	4,8	2,00	83,5
> 5,0	9,6	1,72	31,3

3. Зависимость содержания подвижного ванадия (мг/кг) в аллювиально-болотных почвах от величины pH_{KCl}

pH_{KCl}	x	Sx	V, %
4,4-4,5	8,7	2,70	62,1
4,6-5,2	16,1	2,98	37,0
5,3-5,9	19,1	3,45	36,1
6,0-6,9	24,8	5,73	46,2

Специфика почвенного поглощающего комплекса органогенных почв обуславливает концентрацию ванадия в оторфованных горизонтах [1, 12]. Эта же закономерность обнаружена нами для подвижных соединений ванадия в исследованных почвах. Среднее содержание подвижного ванадия в аллювиальных болотных почвах составило $17,2 \pm 2,63$ мг/кг, коэффициент вариации – 59%. Как и для минеральных почв, просматривается определенная зависимость содержания подвижного ванадия от величины pH_{KCl} (табл. 3).

Относительно высокие значения коэффициентов вариации свидетельствуют о существенном влиянии на накопление подвижного ванадия ряда факторов, в число которых, по-видимому, входят ботанический состав растений-торфообразователей, минералогический состав отлагавшегося аллювия, а также динамика окислительно-восстановительного потенциала в верхних горизонтах рассматриваемых почв. Коэффициент линейной корреляции между pH_{KCl} и содержанием подвижного ванадия в аллювиально-болотных почвах выше, чем в аллювиальных дерновых ($r = +0,43$), однако он недостоверен при 5% уровне значимости. Корреляционное отношение ($\eta = 0,59 \pm 0,21$) указывает на существенно нелинейную связь между этими величинами, однако, в отличие от минеральных почв, минимум содержания подвижного ванадия в интервале pH_{KCl} 4,7-4,9 не наблюдается. Вероятно, это может быть связано как с иными механизмами сорбции соединений четырехвалентного ванадия в кислой среде, так и возможностью восстановления их в кислой среде при характерных для болотных почв относительно низких значений Eh до катиона VO^+ .

В целом отмечается тенденция к росту содержания подвижного ванадия по мере нейтрализации почвенного поглощающего комплекса. Связь между степенью насыщенности основаниями и подвижным V достоверна при 5% уровне значимости ($r =$

$+0,50 \pm 0,23$; $t_{факт} = 2,17$; $t_{05 табл} = 2,15$), но нелинейна ($\eta = 0,78 \pm 0,16$), при этом нелинейность существенна на 5% уровне значимости ($F_{факт} = 5,52$, $F_{05} = 3,74$). Это подтверждается наличием связи между содержанием подвижного ванадия и гидролитической кислотностью ($r = -0,44 \pm 0,24$; $\eta = 0,66 \pm 0,20$). Корреляционное отношение достоверно на 1% уровне значимости. Связь нелинейна вследствие неодинаковой термодинамической устойчивости производных трех- и четырехвалентного ванадия в исследованном интервале pH, так и различных механизмов сорбции VO^+ и производных V(IV) органическим веществом.

Как и для минеральных почв, в аллювиально-болотных почвах отмечается тесная связь между содержанием подвижных соединений ванадия и железа, однако в отличие от аллювиальных дерновых почв связь существенно нелинейна ($r = -0,29$; $\eta = 0,74 \pm 0,19$). Корреляционное отношение достоверно на 1% уровне значимости.

Таким образом, среднее содержание подвижного ванадия в верхних горизонтах аллювиальных почв существенно выше, чем в дерново-подзолистых почвах. Аккумуляция подвижных соединений ванадия в значительной мере определяется кислотно-основными свойствами почвенного поглощающего комплекса. При этом зависимости существенно нелинейны вследствие многообразия форм существования ванадия в исследованном диапазоне pH, а также амфотерности VO_2 . Среднее содержание подвижного ванадия в аллювиальных дерновых почвах близко к его содержанию в дерново-подзолистых глеевых, что свидетельствует о его накоплении в геохимически подчиненных позициях ландшафта. В минеральных почвах содержание подвижного ванадия зависит от гранулометрического состава и кислотности. Высокие значения коэффициентов вариации связаны, по-видимому, с различным минералогическим составом отлагавшегося аллювия.

Литература

1. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
2. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 368 с.
3. Анциферова О.А. Геохимия элементов в почвах Замландского полуострова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013 – 222 с.
4. Панасин В.И. Микроэлементы и урожай. – Калининград, 2000. – 276 с.
5. Нансон А. Роль ванадия и молибдена в обмене веществ у растений и животных / Микроэлементы. – М.: ИЛ, 1962. – С. 350-386.
6. Петербургский А.В. Влияние извести, молибдена и ванадия на бобовые культуры в условиях кислых почв // Известия ТСХА, 1964, № 2. – С. 58-63.
7. Петербургский А.В., Николов Б. Влияние молибдена и ванадия на урожай и содержание азота у зернобобовых культур на некоторых почвах Болгарии // Агрохимия, 1968, № 11. – С. 91-101.
8. Петербургский А.В., Кудряшов В.С., Тормасова Е.Е. Влияние ванадия на качество сельскохозяйственной продукции // Агрохимия, 1977, № 6. – С. 137-146.
9. Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Ермоленко Е.Н. Ванадий в дерново-подзолистых почвах Калининградской области // Агрохимический вестник, 2012, № 6. – С. 7-9.
10. Добрицкая Ю.К. Определение молибдена, ванадия, марганца и йода в почвах / Агрохимические методы исследования почв. Изд-е 5-е дополн. – М.: Наука, 1975. – С. 420-449.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
12. Любимова И.Н. Содержание и формы соединений молибдена, ванадия и хрома в почвах / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: Издательство МГУ, 1979. – С. 224-293.

КАЧЕСТВО СЕМЯН И МАСЛА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА НА РАЗНЫХ ФОНАХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Д.С. Степанова, И.И. Дмитриевская, к.с.-х.н., С.Л. Белопухов, д.с.-х.н.
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, e-mail: dmitrevskie@mail.ru

Проведены полевые опыты со льном-долгуном сорта Восход в 2013-2015 гг. на территории длительного стационарного опыта в условиях Московской области на дерново-подзолистой почве. Агроклиматические условия вегетационных периодов в годы исследований не оказали отрицательного влияния на рост и развитие льна-долгуна: ГТК в 2013 г. составил 1,1, в 2014 г. – 1,05 и в 2015 г. – 1,5. Установлено, что при соблюдении севооборота и внесении минеральных и органических удобрений получены высокие урожаи льна по волокну (18,5-18,9 ц/га) и по семенам (7,9-8,3 ц/га). В семенах содержание белка составило 16,9-19,5%, липидов 33,5-39,4%. Выход льняного масла из семян варьировал от 19,5 до 35,7% в среднем по вариантам опыта. Показатель перекисного числа имел значение 2,5-1,5 мг-экв O_2 /кг, а показатель кислотного числа 1,1-1,9 мг KOH/г, что соответствует получению качественного льняного масла в соответствии со стандартами по всем вариантам. В жирно-кислотном составе льняного масла содержание суммы насыщенных жирных кислот 9,0-14,1%, суммы ненасыщенных жирных кислот составляло 85,9-91,0%, также отмечено высокое содержание незаменимой α -линоленовой кислоты 46,9-60,9%.

Ключевые слова: лен-долгунец, удобрения, семена, химический состав, льняное масло.

QUALITY OF FLAX SEEDS AND OIL AT DIFFERENT BACKGROUNDS OF THE MINERAL NUTRITION

D.S. Stepanova, Ph.D. I.I. Dmitrevskaya, Dr.Sci. S.L. Belopukhov
Russian Timiryazev State Agrarian University, e-mail: dmitrevskie@mail.ru

Field experiments with flax-flax varieties Voskhod in 2013-2015 on the territory of a long-term stationary experiment in the Moscow region on soddy-podzolic soil. Agroclimatic conditions of vegetation periods during the years of research did not adversely affect the growth and development of flax fiber: the SCC in 2013 was 1.1, in 2014 – 1.05 and in 2015 – 1.5. It was found that, with the observance of crop rotation and the introduction of mineral and organic fertilizers, high yields of flax were obtained for fiber (18.5-18.9 centner/ha) and for seeds (7.9-8.3 centner/ha). In seeds, the protein content was 16.9-19.5%, lipids 33.5-39.4%. The yield of linseed oil from seeds varied from 19.5 to 35.7% on average according to the variants of the experiment. The peroxide index had a value of 2.5 to 1.5 meq O_2 /kg, and an acid value of 1.1 to 1.9 mg KOH/g, which corresponds to the production of high-quality flax oil in accordance with the standards for all variants. In the fatty acid composition of linseed oil, the content of the sum of saturated fatty acids was 9.0-14.1%, the sum of unsaturated fatty acids was 85.9-91.0%, a high content of essential α -linolenic acid was also found 46.9-60.9%.

Keywords: flax-fiber, fertilizers, seeds, chemical composition, flaxseed oil.

Подъему льноводческой отрасли в России способствовало принятие Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008-2012 гг. и аналогичной Государственной программы на 2013-2020 гг. В этих программах значительное место отводится субсидиям и дотациям, стимулирующим рост производства сельскохозяйственной продукции, в том числе и льноводческого подкомплекса [1]. Несмотря на высокую продуктивность современных сор-

тов льна-долгуна, реализация их биологических возможностей в производственных условиях составляет в лучшем случае 30-50%, что обусловлено недостаточным применением удобрений. Применение экологически безопасных, биологически активных препаратов может увеличить экономическую эффективность возделывания льна [2-6].

Семена льна служат ценным источником разнообразных веществ: белков (18-23%), жиров (30-40%), фосфолипидов, макро- и микроэлементов. Из семян вырабатывают льняное масло, которое богато поли-

ненасыщенными жирными кислотами (Омега-3 и Омега-6). Семена льна и льняное масло используют в пищевой промышленности, медицине и в технических целях. Жесткая конкуренция на рынке сбыта, в том числе и в льняном секторе, поставила перед отечественными производителями задачу не только получения высококачественного волокна, семян и масла, но также строгого контроля их качества и химического состава в готовых изделиях [5-7].

Цель исследований – провести адаптацию льна-долгунца сорта Восход к почвенно-климатическим условиям Московской области и изучить химический состав семян льна и льняного масла на разных фонах применения минерального питания.

Объекты и методы исследования. Химический анализ семян на содержание общей суммы липидов и белков выполнен методом ближней инфракрасной спектроскопии в соответствии ГОСТ 32749-2014.

Из семян методом холодного отжима было получено льняное масло по ГОСТ 5791-81. Определен выход льняного масла, кислотное число по ГОСТ 50457-92 и перекисное число по ГОСТ 51487-99. Состав и содержание жирных кислот льняного масла определяли методом газовой хроматографии на хроматографе Кристалл 2000 М в соответствии ГОСТ 30623-98 и ГОСТ 30418-96. Все анализы выполнены в трехкратной повторности, доверительные интервалы с уровнем значимости 95% рассчитаны с помощью программы Excel.

Образцы семян и масла получены от растений льна-долгунца сорта Восход. Сорт выведен в Псковском НИИСХ и рекомендован для выращивания в Волго-Вятском районе. В наших исследованиях проведена адаптация данного сорта к условиям Московской области. Полевой опыт проведен на территории Длительного стационарного опыта РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, известного за рубежом под названием «Московский стационар», в 2013-2015 гг. Лен-долгунец выращивают в этом эксперименте уже более 100 лет. Многофакторный опыт длительного применения удобрений, как в отдельности, так и в различных сочетаниях, служит методом познания основных закономерностей формирования урожая льна и условий почвенного плодородия в Нечерноземной зоне России [8].

Варианты полевого опыта: 1. Нулевой уровень (без удобрений, без известкования); 2. Нулевой уровень (без удобрений, с известкованием); 3. N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀, без известкования; 4. N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀, с известкованием; 5. N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀ + навоз, 20 т/га, без известкования; 6. N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀ + навоз, 20 т/га, с известкованием.

Агротехнология выращивания льна: осенью проведена основная вспашка агрегатом типа МТЗ 12+21 + UNIA 2+1 (плуг оборотный маленький); весной – боронование (закрытие влаги) агрегатом МТЗ-80 + БЗТС-1,0 и культивация МТЗ-80 + ZBC-300. Норма высева семян 22 млн. шт/га. Посев осуществляли аг-

регатором МТЗ-80 + AMAZONE D9-30. Площадь делянок 50 м², учетных 25 м². Предшественник во все годы исследований клевер первого года пользования. Азотные удобрения вносили весной перед посевом, фосфорные, калийные и навоз – осенью. Известкование проводили 1 раз в 4-5 лет из расчета гидролитической кислотности почвы, в годы наших исследований не проводили. Почва дерново-подзолистая средне- и легкосуглинистая, старопашотная; плотность почвы 1,5-1,6 г/см³; содержание гумуса (по Тюрину) 2-2,5%; P₂O₅ (по Кирсанову) 170-180 мг/кг; K₂O (по Масловой) 90-100 мг/кг; N легкогидролизуемый (по Тюрину) 5-5,5 мг/100 г; рН_{H2O} – 5,5-6,0.

Агроклиматические условия вегетационных периодов в 2013-2015 гг. не оказали отрицательного влияния на рост и развитие льна-долгунца. Гидротермический коэффициент, характеризующий степень увлажнения вегетационного периода, в 2013 г. составил 1,1, в 2014 г. – 1,05, в 2015 г. – 1,5. Таким образом, 2013 г. был слабо увлажненным, 2014 г. – умеренно засушливым, 2015 г. – достаточно увлажненным.

Подсчет урожайных данных волокна и семян по вариантам опыта проведен в соответствии с существующими указаниями и рекомендациями.

Результаты и их обсуждение. Из данных таблицы 1 видно, что на делянках с полным комплексом минеральных удобрений совместно с внесением навоза и известкованием получены высокие урожаи льна по волокну (18,5-18,9 ц/га) и по семенам (7,9-8,3 ц/га).

На делянках N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀ без известкования (вариант 3) урожайность льносоломки была больше на 6,1 ц/га, волокна – на 0,8 ц/га, семян – на 0,3 ц/га относительно делянок (вариант 1). Подобное увеличение урожайных данных было также и на делянках с известкованием. Урожайность льносоломки увеличивалась на 5,6 ц/га (вариант 4), волокна – на 1,1 ц/га, семян – на 0,9 ц/га относительно варианта 2 (без удобрений, с известкованием).

Внесение органических удобрений (навоз) совместно с минеральными удобрениями (вариант 5 и 6) способствовало увеличению урожайности льно-

1. Урожайность льна-долгунца, ц/га

Показатель	Вариант						НСР _{0,5}
	1	2	3	4	5	6	
2013 г.							
Льносолома	50,5	54,9	56,9	60,4	60,1	65,6	2,6
Волокно	16,4	16,9	17,0	17,6	17,5	18,9	0,8
Семена	6,9	7,0	7,1	7,9	7,6	8,2	0,4
2014 г.							
Льносолома	48,3	50,2	55,8	57,2	57,2	62,3	2,5
Волокно	15,3	15,7	16,0	17,0	16,6	18,5	0,8
Семена	6,4	6,6	6,7	7,7	6,8	7,9	0,3
2015 г.							
Льносолома	50,1	52,3	54,5	56,6	60,5	64,6	2,5
Волокно	15,9	16,5	17,1	17,9	16,9	18,5	0,7
Семена	6,7	6,7	7,1	7,4	7,8	8,3	0,3

соломки на 3,5-6,1 ц/га льносоломки, волокна – на 0,4-1,1 ц/га и семян на 0,4-0,5 ц/га относительно вариантов с полным комплексом удобрений (варианты 3, 4) в среднем за три года исследований. Известкование влияло на увеличение урожайности льносоломки на 1,4-5,5 ц/га, волокна на 0,4-1,6 ц/га и семян на 0,1-1,1 ц/га относительно делянок без известкования.

Таким образом, применение минеральных удобрений совместно с навозом и известкование (вариант 6) повышало урожайность льносоломки на 30%, волокна на 17%, семян на 21% относительно варианта без удобрений и известкования (вариант 1).

Полученные семена льна анализировали на содержание общей суммы белков и липидов (табл. 2).

Отмечено, что на делянках с внесением в почву полного комплекса минеральных удобрений совместно с навозом и известкованием (вариант 6) содержание белка в семенах было выше на 2,7% и липидов на 5,1% относительно делянок без удобрений и известкования (вариант 1). На фоне известкования в семенах льна количество белка увеличивалось на 0,3-0,9% и липидов на 0,3-1,8% относительно делянок без известкования.

Важной характеристикой качества получаемого льняного масла является его выход (%), кислотное (КЧ) и перекисное (ПЧ) числа. Следует отметить, что, хотя обычно для пищевых растительных масел допустимой считается величина ПЧ, не превышающая 10 мг-экв O₂/кг, изменение вкуса (прогоркание) и запаха высоконенасыщенного льняного масла начинается обычно при значениях ПЧ меньше 3-5 мг-экв O₂/кг масла. Величина кислотного числа (КЧ), характеризующего содержание свободных жирных кислот, не должна превышать 2 мг КОН/г масла [9]. Нами было проведено определение этих показателей при получении льняного масла из семян (табл. 3).

Выход льняного масла составил от 19,5-35,7% в среднем по вариантам. Значительно повысился выход масла из семян льна на опытных делянках с применением полного комплекса минеральных удобрений (варианты 3 и 4) 5-10,4% относительно делянок вариантов 1 и 2. При рассмотрении делянок опыта с внесением полного комплекса минеральных и органических удобрений (вариант 6) выход льняного масла увеличился на 14,9-16,2% относительно делянок нулевого уровня (вариант 1). Показатель ПЧ имел значение 1,5-2,5 мг-экв O₂/кг, а показатель КЧ 1,1-1,9 мг КОН/г, что соответствует получению качественного льняного масла согласно стандартам (ТУ У 15.4-32448339-001:2005) по всем вариантам. Отмечено снижение КЧ и ПЧ в вариантах с внесением удобрений относительно вариантов без удобрений.

Жирно-кислотный состав льняного масла представлен содержанием суммы насыщенных жирных кислот 9,0-14,1%, суммы ненасыщенных жирных кислот 85,9-91,0%. В составе ненасыщенных жирных кислот отмечено высокое содержание незаме-

2. Химический состав семян льна-долгунца, % на абсолютно сухое вещество

Показатель	Вариант						НСР _{0,5}
	1	2	3	4	5	6	
2013 г.							
Белки	17,2	17,5	18,0	18,9	19,1	19,5	0,7
Липиды	34,1	34,7	36,7	37,9	38,4	38,7	1,3
2014 г.							
Белки	16,9	17,7	18,9	18,9	19,3	20,1	0,8
Липиды	33,5	35,3	36,9	37,5	37,9	38,8	1,3
2015 г.							
Белки	17,4	17,3	18,3	19,2	19,4	20,0	0,7
Липиды	34,2	34,9	36,5	37,4	38,2	39,4	1,4

3. Показатели качества льняного масла

Показатель	Вариант						НСР _{0,5}
	1	2	3	4	5	6	
2013 г.							
Выход масла, %	19,5	20,0	25,5	30,4	31,3	35,7	1,1
ПЧ, мг-экв O ₂ /кг	2,4	2,4	2,0	1,9	1,7	1,6	0,08
КЧ, мг КОН/г	1,8	1,8	1,3	1,1	1,1	1,1	0,05
2014 г.							
Выход масла, %	20,0	21,2	25,8	29,6	30,6	34,9	0,9
ПЧ, мг-экв O ₂ /кг	2,4	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	0,06
КЧ, мг КОН/г	1,9	1,7	1,5	1,2	1,1	1,1	0,05
2015 г.							
Выход масла, %	19,8	22,3	24,9	30,0	33,2	34,7	1,02
ПЧ, мг-экв O ₂ /кг	2,5	2,3	1,9	1,9	1,6	1,5	0,07
КЧ, мг КОН/г	1,9	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	0,05

4. Жирно-кислотный состав льняного масла, %

Вариант	Сумма насыщенных жирных кислот	Сумма ненасыщенных жирных кислот	Сумма пальмитиновой и стеариновой кислот	Содержание α-линоленовой кислоты
2013 г.				
1	13,5	86,5	12,9	47,6
2	13,4	86,6	12,8	47,8
3	11,2	88,8	12,1	50,2
4	11,0	89,0	11,5	55,3
5	9,5	90,5	11,0	55,5
6	9,3	90,7	10,9	60,1
НСР _{0,5}	0,4	3,5	0,4	2,0
2014 г.				
1	14,1	85,9	13,2	46,9
2	13,6	86,4	12,9	47,1
3	11,6	88,4	11,8	50,5
4	11,2	88,8	11,7	56,2
5	9,3	90,7	10,8	55,9
6	9,1	90,9	10,5	59,8
2015 г.				
НСР _{0,5}	0,4	3,2	0,4	1,9
1	13,8	86,2	13,1	47,9
2	13,2	86,8	13,0	47,9
3	11,3	88,7	11,6	50,7
4	11,1	88,9	11,3	54,6
5	9,5	90,5	10,9	55,5
6	9,0	91,0	10,6	60,9
НСР _{0,5}	0,4	3,4	0,3	2,0

мой в рационе питания человека α -линоленовой кислоты 46,9-60,9% (табл. 4).

Отмечено, что внесение удобрений по вариантам опыта способствовало уменьшению суммы насыщенных жирных кислот и увеличению суммы ненасыщенных жирных кислот в льняном масле.

На вариантах полного комплекса минеральных удобрений (варианты 3 и 4) снижение насыщенных жирных кислот и увеличение ненасыщенных жирных кислот составило 2,1-2,5% относительно нулевого уровня (варианты 1 и 2). Такая же тенденция изменения состава жирных кислот льняного масла

наблюдается в варианте 6 (4,1-4,8%) относительно варианта 1. Известкование незначительно повлияло на жирно-кислотный состав масла.

Таким образом, при соблюдении севооборота и внесении полного комплекса минеральных и органических удобрений получены высокие урожаи льна по волокну (18,5-18,9 ц/га) и по семенам (7,9-8,3 ц/га). В семенах содержание белка составило 16,9-19,5%, липидов – 33,5-39,4%. Показатели кислотного и перекисного чисел льняное масло соответствует стандартам качества.

Литература

1. Поздняков Б.А., Рожмина Н.Ю., Великанова И.В. Перспективы технической модернизации льноводства // Агропродовольственная политика России, 2015, № 4(16). – С. 32-34.
2. Белопухов С.Л., Захаренко А.В., Корсун Н.Н., Фокин А.В. и др. Защитно-стимулирующие комплексы в льноводстве: монография. – М.: ИКАР, 2008. – 240 с.
3. Belopukhov S.L., Grishina E.A., Dmitrevskaya I.I., Lukomets V.M., Uschapovsky I.V. Effect of humic-fulvic complex on flax fiber and seed yield characteristics // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2015, № 4. – С. 71-81.
4. Дмитриевская И.И., Калабашкина Е.В., Белопухов С.Л., Прохоров И.С., Попова Г.А. Применение биорегуляторов на льне-долгунце (*Linum usitatissimum* L.) сорта ТООСТ 5 // Проблемы агрохимии и экологии, 2015, № 3. – С. 34-38.
5. Белопухов С.А., Дмитриевская И.И., Прохоров И.С., Григораш А.И. Влияние биопрепарата Флоравит на рост, развитие и урожайность льна-долгунца // Агрохимический вестник, 2014, № 6. – С. 28-30.
6. Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И., Лукомец В.М. Исследование химического состава отходов льно- и пенькопроизводства // Вестник РАСХН, 2016, № 6. – С. 59-61.
7. Belopuhov S.L., Dmitriev L.B., Dmitrieva V.L., Dmitrevskaj I.I. Influence of biostimulators on structure of fat acids of linen oil // Izvestiya of TAA, 2010, issue 7. – PP. 171-175.
8. Белопухов С.Л., Жевнеров А.В., Калабашкина Е.В., Дмитриевская И.И. Определение микроэлементного состава продукции льноводства // Бутлеровские сообщения, 2012, Т. 32, № 10. – С. 72-75.
9. Дмитриевская И.И., Степанова Д.С., Белопухов С.Л., Мазиров М.А. Урожайность льна-долгунца в длительном полевом опыте // Земледелие, 2016, № 7. – С. 42-45.
10. Едимечева И.П., Сосновская А.А., Шадыро О.И. Химический состав и окислительная стабильность льняного масла // Пищевая промышленность: наука и технологии, 2013, № 4 (22). – С. 99-106.

УДК 631.811.94

НАНОПОРОШКИ МЕТАЛЛОВ-МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА СВЕКЛЫ КОРМОВОЙ

А.А. Назарова, к.б.н., С.Д. Полищук, д.т.н.

Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева, e-mail: Nanocentr-APK@yandex.ru

Представлены результаты исследований на свекле кормовой «Эккендорфская желтая», проведенные в 2014-2016 гг. в условиях Рязанского района Рязанской области. Показано влияние биологически активных препаратов на основе нанопорошков металлов железа, кобальта, меди, а также их сочетаний на физиологические, биохимические и продуктивные показатели растений свеклы в полевых условиях. Для всех нанопорошков использовали оптимальную концентрацию (0,1 г) препарата на гектарную норму высева семян, определенную в лабораторных условиях. Лучший результат наблюдался при использовании препарата с нанопорошком кобальта (НП Со) – урожайность корнеплодов увеличилась на 25,8 ц/га, или на 30,2% относительно контроля.

Ключевые слова: свекла кормовая, нанопорошки железа, кобальта, меди, урожайность, качество.

NANOPOWDERS OF MICROELEMENT METALS FOR FODDER BEET QUALITY AND YIELD INCREASE

Ph.D. A.A. Nazarova, Dr.Sci. S.D. Polishchuk

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, e-mail: Nanocentr-APK@yandex.ru

The presents results of investigations on beet fodder «Ekkendorfskaya yellow», held in 2014-2016 in the context of the Ryazan region. It shows the influence of biologically active preparations on the basis of nanopowders of metals of iron, cobalt, copper and their combination on the physiological, biochemical and productive indexes of the beet plants in the field. All nanopowders were used the optimal concentration (0.1 g) per hectare norm of seeding determined in laboratory conditions. The best result was observed when using the drug with cobalt nanopowder (NP Co) – increased the root yield of 25.8 C/ha or 30.2% relative to the control.

Keywords: beet fodder, nanopowders of iron, cobalt, copper, yield, quality.

Корнеплоды – ценные источники сочного корма для сельскохозяйственных животных, особенно в зимний стойловый период. По пищевой ценности среди кормовых корнеплодов одной из главных является свекла, обеспеченная сахарами и витаминами, ее урожайность может достигать 150 ц/га. Высокое кормовое достоинство имеет и ботва корнеплодов, благодаря повышенному содержанию белка и каротина [1]. Семена свеклы туго прорастают, и ускорение данного процесса с помощью микроэлементов может стать важным элементом интенсивной технологии возделывания свеклы [2].

Известно, что железо необходимо для фотосинтеза, дыхания растений и для углеводного обмена [3], медь является частью важнейших окислительных ферментов (полифенолоксидазы, аскорбиноксидазы, лакказы и дегидрогеназы бутил-коферментаА), а также участвует в фотосинтезе, дыхании, обмене углеводов, восстановлении и фиксации азота, метаболизме протеинов и клеточных стенок [4, 5]. В ряде исследований [6-8] показано положительное влияние кобальта на ускорение развития растений, увеличение урожая сельскохозяйственных культур, а также на повышение их засухоустойчивости.

Традиционно в качестве источников микроэлементов (медь, кобальт, молибден, марганец, железо и др.) используют минеральные соли – сульфаты, хлориды, карбонаты, нитраты. Но эти соединения проявляют свои положительные свойства при небольших дозах, а их избыток может привести к снижению и даже гибели урожая. Поэтому возросла необходимость поиска альтернативных форм источников микроэлементов. Мониторинг разработанных нанотехнологических процессов и наноматериалов подтверждает, что применение нанопрепаратов в растениеводстве обеспечивает повышение устойчивости к неблагоприятным факторам и увеличению выхода готовой продукции [9, 10].

В Центре наноматериалов и нанотехнологий для АПК при ФГБОУ ВО РГАТУ проводят исследования биологической активности наноматериалов различной природы и разработки на их основе стимуляторов роста и микроудобрений с учетом особенностей сельскохозяйственных культур [11, 12].

Цель исследования – изучение влияния препаратов, содержащих наночастицы железа, кобальта и меди, а также и их сочетаний на показатели роста и развития растений, урожайность, структуру урожая и химический состав свеклы кормовой.

Материалы и методы исследований. Опыт проведен на агротехнологической станции РГАТУ, п. Стенькино Рязанского района Рязанской области в 2014-2016 гг. Землепользование хозяйства расположено в зоне распространения темно-серых лесных почв, наиболее распространенных в южной Нечерноземной зоне. Содержание гумуса в пахотном слое до 3,8%. Реакция почвенного раствора слабокислая (рН_{KCl} 5,4). Обеспеченность подвижным фосфором 151 мг/кг и калием 129 мг/кг почвы. Плотность почвы 1,2 г/см. Водопрочные агрегаты составляют 50-60%. В целом погодные условия благоприятствовали росту и развитию свеклы кормовой. Агротехнику проводили в соответствии с областными рекомендациями. Предшественник – черный пар. Объект исследования – свекла кормовая сорта «Эккендорфская желтая».

В опыте использовали мелкодисперсные однородные порошки без посторонних включений, с чистотой 99,98%, произведенные в НИТУ «МИСиС»: нанопорошок железа (НП Fe), кобальта (НП Co) и меди (НП Cu). Средний размер частиц составляет 20-40 нм. Для создания биологически активной ультрадисперсной системы суспензию металлов подвергали ультразвуковой обработке в водной среде. Норма расхода суспензии наночастиц металлов при обработке семян составила 0,1 г на гектарную норму высева. Повторность опыта трехкратная. Посевная площадь делянки составляет 26 м², уборочная – 20 м². Расположение вариантов систематическое. Посев семян свеклы кормовой проводили в середине мая 2014-2016 гг.

Результаты. Предпосевная обработка семян нанопрепаратами на вариантах НП Co и НП Co+Cu повысила полевую всхожесть семян на 10-15% относительно контроля. Другие варианты не дали достоверной разницы. В фазе начала смыкания рядков была определена площадь листовой поверхности растений свеклы (табл. 1).

1. Площадь листовой поверхности свеклы кормовой под влиянием нанопрепаратов

Вариант	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	Отношение к контролю, %
1. Контроль – вода	30,8 ± 0,18	-
2. НП Cu	31,5 ± 0,16	+2,3%
3. НП Co	36,9 ± 0,12	+19,8%
4. НП Fe	32,8 ± 0,10	+6,5%
5. НП Fe + Cu	32,0 ± 0,08	+3,9%
6. НП Co + Cu	34,2 ± 0,11	+11,0%
НСП ₀₅	1,58	

Достоверная разница с контролем в изменении площади листовой поверхности наблюдалась на всех вариантах, кроме НП Cu и НП Fe + Cu. Лучший результат замечен при использовании нанопрепарата с кобальтом (+19,8%). В конце вегетационного периода (сентябрь) были определены показатели урожайности свеклы (табл. 2).

При расчете продуктивности кормовой свеклы учитывали не только урожайность корнеплодов, но и урожайность ботвы, так как ее используют на корм скоту. Предпосевная обработка нанопрепаратами семян свеклы увеличила сбор ботвы с единицы площади в варианте 4 (НП Fe) на 12,9%, в варианте 6 – на 20,6%, но лучший результат наблюдался на варианте 3 (НП Co) – на 31,7%. Похожая динамика наблюдалась и при анализе урожайности корнеплодов свеклы. Нанопрепараты способствовали ее по-

вышению максимально на 25,8 ц/га (при НП Co), или на 30,2% относительно контрольного значения.

После уборки в корнеплодах свеклы было проанализировано содержание веществ, определяющих ее пищевую и энергетическую ценность (табл. 2). В кормовой свекле основным сахаром является сахароза (80-90%), также присутствует мальтоза (1-2%) и моносахариды глюкоза и фруктоза. Углеводы являются главным продуктом фотосинтеза и основным дыхательным материалом, поэтому анализ их количества может свидетельствовать о влиянии нанопрепаратов на процессы биосинтеза. Использование нанопрепаратов во всех вариантах привело к увеличению суммы сахаров: максимально при НП железа (+2,3%) и НП кобальта (+2,7%). Содержание витамина С на всех вариантах превышало контроль, причем наиболее ощутимый эффект наблюдался при использовании НП железа (+15,2%) и смеси нанопорошков кобальта и меди (+18,5%). Содержание каротина в корнеплодах также превышало контроль.

Таким образом, предпосевное замачивание семян свеклы кормовой нанопрепаратами оказало значительное влияние на метаболические процессы роста и развития растений и корнеплодов, причем по сумме всех изучаемых показателей наиболее эффективное действие показал препарат на основе нанопорошка кобальта.

2. Урожайность и качество свеклы кормовой под влиянием нанопрепаратов

Вариант	Урожайность ботвы, ц/га	Урожайность корнеплодов, т/га	Сумма сахаров от сырого вещества, %	Витамин С, мг/100 г	Провитамин А (каротин), мг/100 г
1.	69,8 ± 0,14	85,4 ± 0,43	12,2 ± 0,01	9,2 ± 0,2	0,017 ± 0,0003
2.	75,4 ± 0,10	84,0 ± 0,28	13,1 ± 0,05	9,8 ± 0,4	0,021 ± 0,0004
3.	91,9 ± 0,42	111,2 ± 0,30	14,9 ± 0,04	9,9 ± 0,3	0,019 ± 0,0001
4.	78,8 ± 0,11	91,5 ± 0,41	14,5 ± 0,02	10,6 ± 0,2	0,015 ± 0,0007
5.	71,3 ± 0,12	87,6 ± 0,52	13,4 ± 0,06	9,5 ± 0,3	0,018 ± 0,0003
6.	84,2 ± 0,18	109,9 ± 0,21	13,8 ± 0,03	10,9 ± 0,5	0,022 ± 0,0002
НСП ₀₅	4,1	5,3	-	-	-

Литература

- Третьяков Н.Н., Ягодин Б.А., Туликов А.М. Агрономия. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.
- Кубеев Е.И., Смелик В.А. Технологии и технические средства по предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур. Монография. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2011. – 209 с.
- Катальмов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. – М.: Химия, 1965. – 332 с.
- Кабанов Ф.И. Микроэлементы и растения. – М.: «Просвещение», 1977. – 136 с.
- Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Влияние различных форм микроудобрений на основе меди на физиологические, биохимические и продуктивные показатели яровой пшеницы / Сб.: Экология и природопользование: Избранные труды VII Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. – М.: РАН, 2012. – С. 135-152.
- Яковлев П.А., Верниченко И.В., Большакова Л.С. Влияние обработки семян микроэлементами на урожайность яровых зерновых культур в условиях почвенной засухи // Агрехимический вестник, 2014, № 1. – С. 25-27.
- Лукин С.В., Авраменко П.М., Корнейко Н.Л. Кобальт и молибден в почвах Белгородской области // Агрехимический вестник, 2008, № 2. – С. 10-12.
- Тараканов Г.И., Мухин В.Д. Овощеводство: учебник для студентов Вузов / 2-е изд., перераб и доп. - М.: КолосС, 2003. – 472 с.
- Федоренко В.Ф., Ерохин М.Н., Балабанов В.И. и др. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: научное издание. – М.: «Росинформагротех», 2011. – 312 с.
- Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилова В.В. Физиологические, биохимические и продуктивные показатели пивоваренного ячменя при использовании биологически активных наноматериалов // Сахар, 2017, № 1. – С. 22-25.
- Polishchuk S.D., Nazarova A.A., Kutskir M.V., Churilov G.I. Nano-Materials and Composition on the Basis of Cobalt Nano-Particles and Fine Humic Acids as Stimulators of New Generation Growth // Journal of Materials Science and Engineering, 2014, № 2. – PP. 46-54.
- Churilova V.V., Nazarova A.A., Polishchuk S.D. Influence of Biodrugs with Nanoparticles of Ferrum, Cobalt and Cuprum on Growth, Development, Yield and Phytohormone Status of Fodder and Red Beets // Nano Hybrids, 2017, Vol. 13. – PP. 149-155.

ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД САХАРНУЮ СВЕКЛУ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЧЕРНОЗЕМОВ МИНЕРАЛЬНЫМ АЗОТОМ И ПОДВИЖНЫМ ФОСФОРОМ

И.В. Ильюшенко, к.б.н.

ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, e-mail: ili.ari@yandex.ru

Рассмотрен вопрос влияния степени обеспеченности черноземных почв доступными формами азота и подвижным фосфором на урожайность сахарной свеклы. С увеличением содержания доступного азота и подвижного фосфора увеличивается урожайность сахарной свеклы, как без внесения (на черноземах выщелоченных в 1,3 раза, на черноземах типичных в 1,2 раза, на черноземах обыкновенных в 1,4 раза), так и с применением азотных удобрений. Урожайность сахарной свеклы возрастает более чем в 1,5 раза при переходе почв от низкой степени обеспеченности доступными формами азота и подвижного фосфора в более высокую категорию.

Ключевые слова: черноземные почвы, агрохимические показатели, минеральные удобрения, азот, подвижный фосфор, сахарная свекла, урожайность.

NITROGEN FERTILIZERS APPLICATION FOR SUGAR BEET CULTIVATION UNDER VARIOUS SUPPLY OF MINERAL NITROGEN AND AVAILABLE PHOSPHOROUS IN CHERNOZEM SOILS

Ph.D. I.V. Ilyushenko

Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute for Agrochemistry, e-mail: ili.ari@yandex.ru

The issue of the influence of the degree of provision of chernozem soils with accessible forms of nitrogen and mobile phosphorus on the yield of sugar beet is considered. With increase in content of available nitrogen and mobile phosphorus the productivity of sugar beet, both without introduction, and with use of nitrogen fertilizers increases. The productivity of sugar beet increases upon transition of soils from low degree of security with available forms of nitrogen and mobile phosphorus in higher category.

Keywords: chernozem soils, agrochemical indicators, mineral fertilizers, nitrogen, mobile phosphorus, sugar beet, productivity.

Поступление питательных веществ в растения сахарной свеклы происходит в течение продолжительного промежутка времени, при этом суммарное их потребление намного выше, чем у других сельскохозяйственных культур. Поэтому систему удобрения в свекловичных севооборотах составляют таким образом, чтобы улучшить питание растений в различные этапы развития, и не допустить снижения плодородия почв. Это достигается при внесении удобрений в определенных соотношениях под яблечную обработку почвы и применением подкормок [1]. Под сахарную свеклу последнее время вносят около 100 кг/га азотных удобрений, что значительно больше по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности сахарной свеклы в лесостепной зоне составляет 26-32% и в степной 16-20%, из которых третья часть приходится на азот [2]. Эффективность применения азотных удобрений под сахарную свеклу в значительной степени зависит от содержания в почвах доступных форм азота [3, 4]. В то же время в ряде случаев и другие агрохимические свойства почв ока-

зывают большое влияние на эффективность азотных удобрений. Если при увеличении содержания доступных для растений форм азота снижалась отдача от азотных удобрений, то снижение кислотности почв, увеличение степени обеспеченности их подвижными формами фосфора и калия способствовало повышению эффективности азотных удобрений. Эффект от внесения азота был еще более заметен при комплексном агрохимическом окультуривании почв, когда одновременно улучшалась реакция почвенной среды и повышался фосфатный и калийный уровни почв. В этих случаях окупаемость азотных удобрений возрастала почти в 2 раза [3, 5, 6].

Цель исследования – изучить влияние свойств черноземных почв на прибавку урожая сахарной свеклы от азотных удобрений и их окупаемость этой прибавкой в Центральном федеральном округе.

Методика исследования. Основой для исследований послужили результаты полевых опытов агрохимической службы, в которых изучили эффективность применения азотных удобрений под сахарную свеклу в основных районах ее возделывания. Для обобщения данных использовали метод

математического моделирования. Оценку тесноты связи между агрохимическими свойствами почв, урожайностью и прибавкой урожая определяли по коэффициентам корреляции при линейной зависимости или корреляционным отношением при криволинейной зависимости. Для обработки данных были взяты только те показатели, которые регулярно контролировались агрохимической службой, и по которым информация имеется в каждом сельскохозяйственном предприятии. Сюда относится реакция почвенной среды, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия в почвах.

При оценке влияния содержания доступных форм азота на эффективность применения азотных удобрений под сахарную свеклу выборки формировали по типам и подтипам почв. В выборки включали опыты, где в схеме предусматривалось вычленение действия азотных удобрений на фоне абсолютного контроля и на фоне РК. В результате сформировалась достаточно представительная выборка с широким диапазоном колебаний агрохимических показателей, охватывающих практически все возможные ситуации, которые могут встречаться в условиях сельскохозяйственного производства. Выборка на черноземах выщелоченных составила 935 наблюдений, на черноземах типичных – 911, на черноземах обыкновенных – 352, число наблюдений в этих выборках позволило провести необходимую статистическую обработку материала. В черноземах выщелоченных и типичных Центрального федерального округа азот определяли по методу Корнфилда (щелочногидролизующий), в обыкновенном черноземе – по методу Тюрина-Кононовой (легкогидролизующий).

Результаты и их обсуждение. Статистическая обработка данных показала, что агрохимические свойства почв оказывали различное влияние на эффективность азотных удобрений под сахарную свеклу. Так, содержание гумуса в почвах практически не влияло на действие азотных удобрений. Реакция почвенной среды также не оказывала воздействия на изменение урожайности свеклы от внесения азота. Подобная закономерность выявлена и в отношении степени обеспеченности черноземных почв подвижными формами фосфора и калия, тогда как связь между содержанием доступных форм азота, дозами азотных удобрений и прибавкой урожайности сахарной свеклы оказалась существенной. Она была криволинейной по форме, средней ($\eta = 0,43$) и сильной ($\eta = 0,82$) по тесноте и достоверной при уровне значимости 0,001.

Содержание азота в почве, независимо от метода его определения, оказало заметное влияние как на урожайность сахарной свеклы, так и на прибавку урожая от азотных удобрений. С увеличением содержания доступного азота в почвах урожайность возрастала в широком диапазоне варьирования. В вариантах без удобрений на черноземах вы-

щелоченных она колебалась от 175 до 234 ц/га, на черноземах типичных от 255 до 305 ц/га, на черноземах обыкновенных от 202 до 281 ц/га. Прибавка урожая от азотных удобрений снижалась по мере увеличения содержания доступных форм азота в почвах. Такая закономерность имела место на всех, рассмотренных нами почвенных разновидностях. Окупаемость азотных удобрений также уменьшалась при возрастании степени обеспеченности почв азотом.

Наряду с содержанием в почве доступных форм азота на величину урожайности сахарной свеклы немалое влияние оказывает наличие в почвах подвижных форм фосфора. Результаты статистической обработки данных показали, что связь между содержанием P_2O_5 в почвах и урожайностью сахарной свеклы характеризовалась в одних случаях криволинейной, в других – линейной зависимостью и была существенной при 0,001 уровне значимости. Выборка по черноземам выщелоченным содержала пять групп от низкой до очень высокой, тогда как на черноземах типичных, обыкновенных только три. Все это в конечном итоге оказало влияние на результаты исследования. На выщелоченных черноземах разница в урожайности сахарной свеклы, полученной на почвах с различной степенью обеспеченности подвижными формами, составила 71 ц/га, на черноземах типичных и обыкновенных 11-16 ц/га. Значительное влияние на урожайность оказали генетические свойства почв. При одной и той же степени их обеспеченности подвижным фосфором урожайность колебалась в отдельных случаях более, чем в 1,5 раза. Тем не менее, всем изученным почвенным закономерностям присуща общая закономерность – с увеличением содержания подвижного фосфора в почве повышается урожайность сахарной свеклы.

Содержание доступных форм азота и степень обеспеченности почв подвижными формами фосфора, находясь во взаимодействии друг с другом, могут оказывать как положительное, так и дестабилизирующее действие на урожай и на эффективность применения азотных удобрений. В связи с этим при оценке роли этих факторов в продукционном процессе необходимо узнать их взаимовлияние. Полученные результаты говорят о том, что одновременное повышение содержания доступных форм азота независимо от метода их определения и подвижного фосфора в почвах способствовало весьма заметному повышению урожайности сахарной свеклы. Например, переход черноземов выщелоченных из низко обеспеченных легкогидролизующим азотом и подвижным фосфором в категорию высокообеспеченных по этим показателям способствовал удвоению урожайности (табл. 1). Внесение азотных удобрений в дозах N_{90} и N_{120} способствовало повышению урожайности сахарной свеклы во

1. Влияние доступных форм азота и подвижного фосфора на урожайность сахарной свеклы без удобрений, ц/га

Содержание азота, мг/кг	Содержание подвижного фосфора				
	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое
по Корнфилду	Черноземы выщелоченные				
≤100	143	178	196	204	226
101-150	146	198	218	228	252
151-200	192	224	243	257	283
>200	206	240	263	277	305
по Корнфилду	Черноземы типичные				
≤100	-	242	250	275	-
101-150	-	267	275	283	-
151-200	-	278	280	294	-
>200	-	289	297	330	-
по Тюрину-Кононовой	Черноземы обыкновенные				
≤40	-	197	262	206	-
41-50	-	227	232	237	-
51-70	-	276	281	285	-

2. Влияние доступных форм азота и подвижного фосфора на урожайность сахарной свеклы с внесением N₉₀, ц/га

Содержание азота, мг/кг	Содержание подвижного фосфора				
	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое
по Корнфилду	Черноземы выщелоченные				
≤100	168	203	221	229	251
101-150	169	221	241	251	279
151-200	214	246	265	275	305
>200	227	261	284	298	326
по Корнфилду	Черноземы типичные				
≤100	-	268	276	301	-
101-150	-	290	298	306	-
151-200	-	299	301	315	-
>200	-	308	316	334	-
по Тюрину-Кононовой	Черноземы обыкновенные				
≤40	-	231	236	240	-
41-50	-	255	260	265	-
51-70	-	297	302	306	-

3. Влияние доступных форм азота и подвижного фосфора на урожайность сахарной свеклы с внесением N₁₂₀, ц/га

Содержание азота, мг/кг	Содержание подвижного фосфора				
	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое
по Корнфилду	Черноземы выщелоченные				
≤100	174	209	227	235	257
101-150	175	227	247	257	281
151-200	220	252	271	285	311
>200	233	267	290	304	322
по Корнфилду	Черноземы типичные				
≤100	-	273	281	306	-
101-150	-	296	304	312	-
151-200	-	306	308	322	-
>200	-	316	324	357	-
по Тюрину-Кононовой	Черноземы обыкновенные				
≤40	-	235	240	244	-
41-50	-	258	263	296	-
51-70	-	300	305	300	-

всех вариантах (табл. 2 и 3). Величина урожайности в том и другом случаях отличалась продуктивностью сахарной свеклы, полученной за счет улучшения агрохимических свойств почв. Долевое участие азотных удобрений в формировании урожайности колебалось в зависимости от степени обеспеченности почв азотом и фосфором от 1 до 78%.

Таким образом, на всех рассмотренных разновидностях черноземов отмечалась общая закономерность: с увеличением содержания доступного азота и подвижного фосфора увеличивается урожайность сахарной свеклы как без внесения, так и с применением азотных удобрений. Одновременное улучшение азотного и фосфатного режимов почв способствовало еще большему усилению их воздействия на продукционный процесс. Переход почв от низкой степени обеспеченности доступными формами азота и подвижного фосфора в высокую категорию в ряде случаев удваивал урожайность. Повышение содержания азота в почвах приводило к снижению прибавки урожая сахарной свеклы от азотных удобрений. Тем не менее, суммарная урожайность, полученная от улучшения агрохимических свойств почв и внесения азотных удобрений, превышала таковую на менее окультуренных почвах.

Литература

1. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. – М.: «Колос», 1992. – 272 с.
2. Державин Л.М., Мерзлая Г.Е., Хайдуков К.П. Интегрированное применение удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях производства сахарной свеклы. – М.: ВНИИА, 2015. – 380 с.
3. Шафран С.А., Прошкин В.А., Валина Г.И., Козенчева Е.С. Влияние агрохимических свойств почв на окупаемость азотных удобрений // Агрохимия, 2010, № 8. – С. 15-23.
4. Шафран С.А., Козенчева Е.С., Ильюшенко И.В. Оценка методов почвенной диагностики азотного питания сахарной свеклы // Агрохимия, 2015, № 8. – С. 27-32.
5. Ильюшенко И.В. Закономерности взаимодействия агрохимических свойств черноземных почв и доз минеральных удобрений при формировании продуктивности сахарной свеклы: дисс. к.б.н. – М.: ВНИИА, 2015. – 139 с.
6. Ильюшенко И.В. Оптимизация применения минеральных удобрений под сахарную свеклу в зависимости от агрохимических свойств черноземов // Агрохимический вестник, 2015, № 3. – С. 39-41.

АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

¹В.К. Кузнецов, д.б.н., ¹А.И. Санжаров, к.б.н., ²В.П. Грунская, ¹Н.В. Андреева

¹Всероссийский НИИ радиологии и агроэкологии, e-mail: vkuzn@yandex.ru

²Тульский НИИ сельского хозяйства, e-mail: tniisx@mail.ru

В многолетних исследованиях изучено влияние агрохимических мероприятий на биологическую подвижность радионуклидов. Установлено, что переход ¹³⁷Cs в растения из малоплодородных, вновь освоенных почв до 5,5 раз выше по сравнению с окультуренными почвами. Комплексное применение мелиорантов и минеральных удобрений способствует снижению накопления ¹³⁷Cs в урожае зерновых культур до 3,7 раза. Показано, что для организации землепользования радиоактивно загрязненных угодий в адаптивно-ландшафтном земледелии необходимо проводить группировку сельскохозяйственных земель не только по агроэкологическим и радиоэкологическим параметрам, но и по степени окультуренности почв, которая определяет подвижность радионуклидов в системе почва-растение.

Ключевые слова: системы удобрений, радионуклиды, земледелие, защитные мероприятия, плодородие почв, сельскохозяйственные культуры.

AGROCHEMICAL EVENTS IN ADAPTIVE-LANDSCAPE AGRICULTURE IN THE CONTAMINATED TERRITORIES

¹Dr.Sci. V.K. Kuznetsov, ¹Ph.D. A.I. Sanzharov, ²V.P. Grunskaya, ¹N.V. Andreeva

¹All-Russian Scientific-Research Institute for Radiology and Agroecology, e-mail: vkuzn@yandex.ru

²Tula Scientific-Research Institute for Agriculture, e-mail: tniisx@mail.ru

In many years of research studied the influence of chemical events in the biological mobility of radionuclides. It is established that uptake of ¹³⁷Cs by plants from marginal soils to 5.5 times higher compared to cultivated soils. The complex application of ameliorants and mineral fertilizers helps to reduce the accumulation of ¹³⁷Cs in the crop of grain crops up to 3.7 times. It is shown that for the organization of the land use of radioactively contaminated agricultural grounds in the adaptive landscape agriculture it is necessary the grouping lands not only in agroecological and radioecological parameters, but also on the degree of cultivation of soils, which determines the mobility of radionuclides in the soil-plant system.

Keywords: system fertilizers, radionuclides, agriculture, countermeasure, soil fertility, crops.

После аварии на Чернобыльской АЭС разработан комплекс защитных и реабилитационных мероприятий по ведению сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях [1-2]. Эти рекомендации были направлены на получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур с минимальным содержанием радионуклидов. В первый период после аварии, в условиях повышенного внимания и достаточного государственного финансирования, применение рекомендаций обеспечило существенное уменьшение накопления ¹³⁷Cs в урожае сельскохозяйственных культур, что позволило снизить дозы облучения населения за счет потребления местной продукции в среднем в 1,5-3 раза [3]. В отдаленный период после аварии ставится задача оптимизации

применения реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях с учетом необходимых материальных и финансовых средств, недостаток которых в последние годы проявляется особенно остро. В этих условиях особое внимание следует обратить на адаптацию ранее разработанных защитных мероприятий к существующим системам земледелия, а также к природно-ландшафтным, радиологическим и хозяйственным факторам каждого конкретного сельскохозяйственного предприятия. Следует признать, что объемы применения минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных территориях, и в первую очередь на легких по гранулометрическому составу малоплодородных почвах, не могут гарантировать производство продукции, соответствующей сани-

тарно-гигиеническим требованиям накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции на минимально возможном уровне [4]. В связи с этим на первый план выходит оптимизация применения ограниченных минеральных ресурсов с учетом характера и плотностей радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий и требований культур к достигнутым уровням почвенного плодородия. Распределение минеральных и органических удобрений не должно проводиться механически равномерно по всем полям севооборотов. В зависимости от культуры земледелия при использовании сельскохозяйственных угодий агрохимические и агрофизические свойства почв могут изменяться как в оптимальном, так и негативном для сельскохозяйственных культур направлении. Изменение окультуренности почв будет оказывать влияние не только на урожайность культур, но и подвижность радионуклидов в системе почва-растение [5].

Цель исследований – оценка влияния различных агрохимических мероприятий на угодьях с различной степенью окультуренности на биологическую подвижность ^{137}Cs в почвах и накопление в урожае после аварии на Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы. Исследования по оценке влияния агрохимических мероприятий на накопление ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур на почвах с различной степенью окультуренности проводили на радиоактивно загрязненных угодьях Тульского НИИ сельского хозяйства. Для оценки динамики изменения накопления ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур в зависимости от степени окультуренности почв проводили комплексное обследование сельскохозяйственных угодий. На базе расчетных значений индексов агрохимической окультуренности почв (Иок) было определено пространственное распределение полей севооборотов по степени их окультуренности по 4 группам: с очень низкой степенью окультуренности (Иок < 0,4), низкой (0,41-0,60), среднеокультуренные (0,61-0,80), и сильноокультуренные (0,81-1,0) [6].

Индексы окультуренности почв разных полей рассчитывали по формуле:

$$I_{ок} = \frac{I_{рН} + I_{P_2O_5} + I_{K_2O} + I_{гум}}{4}$$

где: *Iок* – индекс окультуренности почв; *IрН*, *I_{P₂O₅}*, *I_{K₂O}*, *I_{гум}* – индексы агрохимических показателей почв.

На обследуемых полях характер применения агрохимических мероприятий варьировал от экстенсивных до интенсивных. На полях с высокой степенью окультуренности почв интенсивный уровень заключался в ежегодном внесении под зерновые культуры удобрений в дозах $N_{60-90}P_{60}K_{60}$ и в периодическом (исходя из гидролитической кислотности) известковании почв (1 раз в 4 года), что спо-

собствовало повышению плодородия и возрастной Иок почв с 0,85 до 0,93.

Для базовых систем применения удобрений и агрохимикатов была характерна максимальная дифференциация доз удобрений и средств защиты растений в зависимости от состояния почвы и вида предшествующей культуры. В период до 2010 г. на обследуемых полях проводили периодическое известкование. Минеральные удобрения вносили под озимые и пропашные культуры в дозах $N_{60-90}P_{60}K_{60}$. Остальные культуры возделывались без внесения минеральных удобрений. Вынос питательных веществ с урожаем ежегодно превышал поступление с удобрениями, что обусловило снижение Иок с 0,86 до 0,83.

В качестве полей с полностью экстенсивными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур служил контрольный вариант многолетнего полевого эксперимента, в котором с 1982 по 2008 г. минеральные удобрения не применяли. При этом индекс агрохимической окультуренности почвы этого варианта снизился за период исследования с 0,83 до 0,78.

Для вновь освоенных участков полей с низкой степенью окультуренности было характерно проведение с 1993 по 2000 г. всего комплекса мероприятий по повышению плодородия почв с известкованием и ежегодным внесением удобрений в дозах $N_{60-90}P_{60}K_{60}$. Вместе с тем, начиная с 2000 по 2010 г., агрохимические мероприятия на этих полях не проводили и культуры возделывали без применения минеральных удобрений. Индекс агрохимической окультуренности этих участков с 1993 по 2000 г. вырос с 0,51 до 0,62.

Были выбраны поля, различающиеся почвенным плодородием, интенсивностью проведения агрохимических мероприятий, с которых в течение 18 лет отбирали и анализировали образцы почв и растений на содержание ^{137}Cs . Образцы почв и растений высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчали на мельнице МРП-1. Определение ^{137}Cs проводили γ -спектрометрическим методом на многоканальном анализаторе IN 1200 с германиевым детектором GM, ошибка измерений не превышала $\pm 10\%$. Проводили также расчет коэффициентов накопления ^{137}Cs , как интегральных показателей, связывающих концентрацию радионуклида в растениях и их удельную активность в почвах (КН).

Результаты исследований. Установлено, что биологическая подвижность ^{137}Cs не является постоянной величиной и в зависимости от окультуренности почв, характера и интенсивности проведения агрохимических мероприятий изменяется в широких пределах. При этом, несмотря на высокое потенциальное плодородие и фиксирующую способность, слабоокультуренные глубоковещелоченные сильнокислые черноземы с относительно низ-

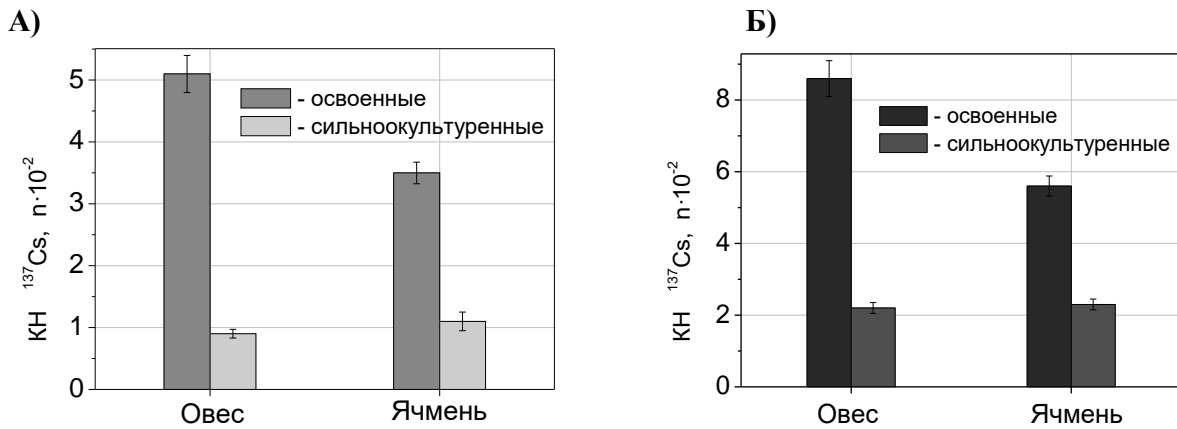


Рис. 1. Накопление ^{137}Cs в зерне (А) и соломе (Б) зерновых культур из почв различной степени окультуренности, 1993 г.

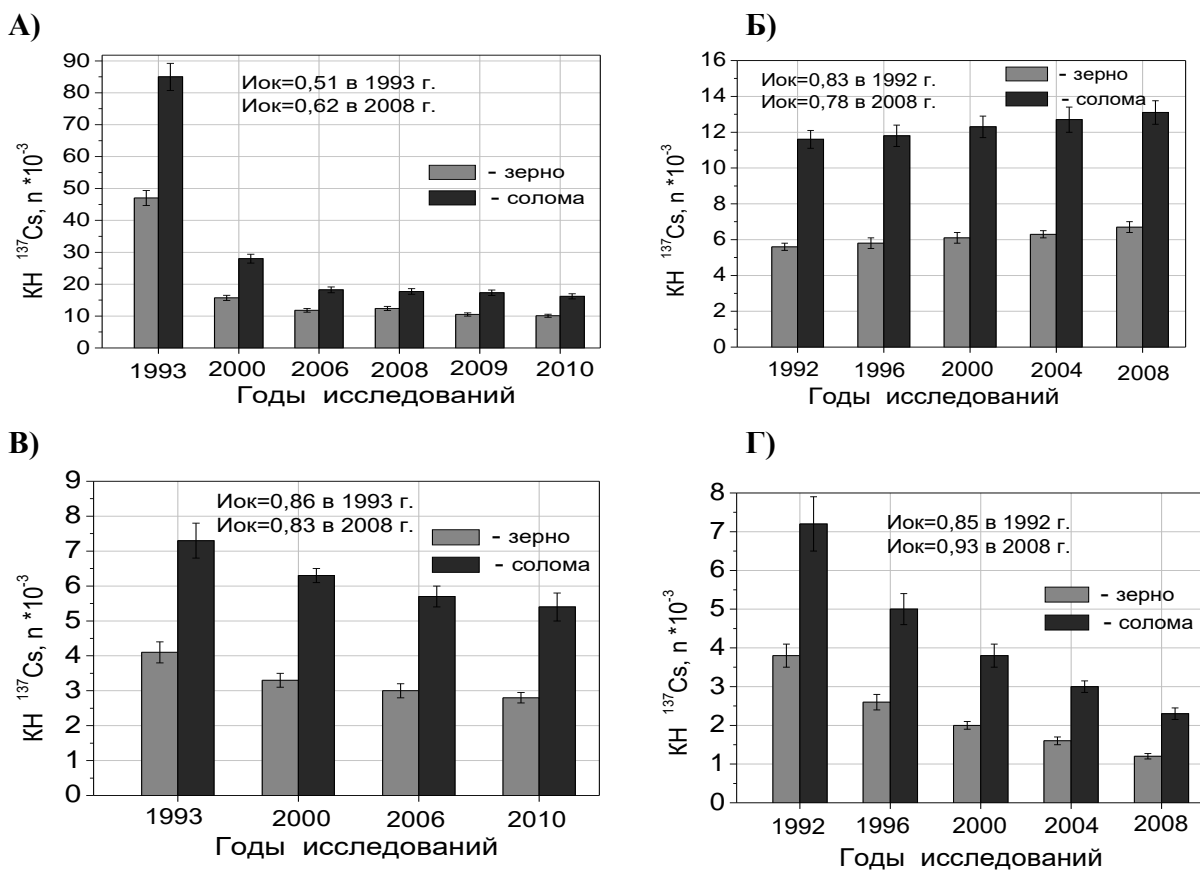


Рис. 2. Динамика накопления ^{137}Cs в урожае яровой пшеницы из освоенных (А) и окультуренных почв с экстенсивной (Б), базовой (В) и интенсивной (Г) технологиями возделывания сельскохозяйственных культур

ким содержанием элементов питания могут стать источником повышенного накопления радионуклидов в урожае. Наблюдаемый в 1993 г. переход ^{137}Cs в зерно и солому зерновых культур из этих почв до 5,5 раз превышал аналогичные показатели на старопашотных окультуренных черноземах (рис. 1).

Длительное (18 лет) возделывание сельскохозяйственных культур по экстенсивной технологии на окультуренных почвах без проведения агрохимических мероприятий обуславливает истощение даже

высокоплодородных черноземных почв и способствует подкислению почвенного раствора на 0,4 единицы, снижению содержания подвижного калия на 26 мг/кг и гумуса на 0,2 единицы [5]. При этом коэффициенты накопления ^{137}Cs в урожае яровой пшеницы увеличились в 1,2 раза (рис. 2Б). Напротив, интенсивная система агрохимических мероприятий, предполагающая ежегодное сбалансированное применение минеральных удобрений и мелиорантов в оптимальных объемах, способствует не только под-

держанию почвенного плодородия, но и снижению перехода ^{137}Cs в урожай яровой пшеницы в 3,1 раза (рис. 2 Г). На почвах примерно такой же степени окультуренности базовые уровни применения удобрений и агрохимикатов способствовали снижению накопления ^{137}Cs в зерне и соломе яровой пшеницы соответственно только в 1,5 и 1,3 раза (рис. 2В).

На вновь освоенных выщелоченных черноземах максимальное снижение накопления ^{137}Cs в зерне и соломе яровой пшеницы (в 3,0 и 3,2 раза, соответственно) произошло в период с 1993 по 2000 г., то есть во время проведения наиболее полного комплекса агрохимических мероприятий (рис. 2А). В последующие 10 лет темпы изменения накопления ^{137}Cs в растениях существенно сократились и кратность снижения составила 1,6 раза, причем в наибольшей степени с 2000 по 2006 г., что было обусловлено влиянием последствий ранее проведенных мероприятий. С 2006 по 2010 г. темпы снижения перехода ^{137}Cs в урожай растений практически не менялись.

Таким образом, агрохимические мероприятия на радиоактивно загрязненных угодьях оказывают комплексное воздействие как на свойства

почв и продуктивность сельскохозяйственных культур, так и на биологическую подвижность радионуклидов. Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без минеральных удобрений обуславливает деградацию плодородия выщелоченных черноземов и возрастание накопления ^{137}Cs в растениях в 1,2-1,3 раза и, напротив, комплексное систематическое применение мелиорантов и сбалансированных доз минеральных удобрений способствует снижению накопления ^{137}Cs в зерновых культурах до 3,7 раза. При этом биологическая подвижность и накопление ^{137}Cs в урожае зависят не только комплекса проводимых агротехнических и агрохимических мероприятий, но и степени окультуренности почв. Переход ^{137}Cs из малоплодородных вновь освоенных почв до 5,5 раз выше по сравнению с окультуренными. Выявленные различия обуславливают необходимость группировки радиоактивно загрязненных почв в адаптивно ландшафтном земледелии не только по агроэкологическим и радиоэкологическим параметрам, но и по степени окультуренности почв.

Литература

1. Рекомендации по ведению растениеводства на радиоактивно загрязненной территории России: под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Россельхозакадемия, 1997. – 115 с.
2. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных радиоактивными веществами в результате крупных радиационных аварий: научное руководство: под ред. Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2009. – 150 с.
3. Алексахин Р.М. Радиоэкологические уроки Чернобыля. Радиационная биология // Радиоэкология, 1993, т. 33, вып. 1. – С. 3-14.
4. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.2650-10 (Дополнения и изменения № 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01). – М.: Юридическая литература, 2002. – 217 с.
5. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Бровкин В.И., Серегин С.В., Грунская В.П. Оценка влияния длительного применения минеральных удобрений на свойства почв, качество продукции и накопление ^{137}Cs урожаем зерновых культур // Агрохимия, 2017, № 2. – С. 74-82.
6. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.

УДК 631.86:631.438:632.118

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПЕЛИНОГО ПОМЕТА И СОЛОМЫ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{137}CS , НА ПОСТУПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОРОСТКИ ПШЕНИЦЫ И ГОРОХА

А.В. Ефремов, С.П. Торшин, д.б.н.

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, e-mail: storshin@timacad.ru

Рассмотрено влияние меченых радиоцезием (^{137}Cs) перепелиного помета и соломы злаковых культур на поступление этого радионуклида в растения яровой пшеницы и гороха посевного при выращивании на дерново-подзолистой почве разного гранулометрического состава. Показано, что из разных источников радиоцезия (минеральная форма, меченая солома и меченый перепелиный помет) количественный переход радионуклида в проростки пшеницы яровой и гороха зависит, от гранулометрического состава почвы. Внесение перепелиного помета приводило к сни-

жению активности ^{137}Cs в изучаемых растениях на супесчаной и тяжелосуглинистой почвах соответственно в 4,2 и 1,6 раз.

Ключевые слова: проростки пшеницы, проростки гороха, радионуклиды, перепелиный помет, ^{137}Cs , меченая солома, дерново-подзолистая почва.

INFLUENCE OF QUAIL MANURE AND STRAW CONTAMINATED BY ^{137}Cs ON ADMISSION OF RADIONUCLIDES IN SPROUTS OF WHEAT AND PEA

A.V. Efremov, Dr.Sci. S.P. Torshin

Russian Timiryazev State Agrarian University, e-mail: storshin@timacad.ru

The article considers the influence labeled with radioactive cesium (^{137}Cs) quail manure and straw cereals on receipt of this radionuclide in the spring wheat and pea plant seed for growing it on soddy-podzolic soils of different particle size distribution. It is shown from different sources cesium: mineral form, tagged and labeled straw quail droppings quantitative radionuclide transfer in sprouts of spring wheat and peas depends primarily on the size distribution of the soil composition. Adding quail manure decreased the ^{137}Cs activity in the studied plants on sandy and heavy soils in 4.2 and 1.6 times, respectively.

Keywords: wheat sprouts, pea sprouts, radionuclides, quail droppings, ^{137}Cs , labeled straw, soddy-podzolic soil.

Получение высоких урожаев экологически безопасного зерна пшеницы и гороха в условиях радионуклидного загрязнения затруднено, так как это связано со сравнительно большими коэффициентами накопления радиоактивных изотопов-поллютантов растениями. Важным фактором снижения массопереноса радионуклидов в системе почва-растение служит внесение органических удобрений, в частности птичьего помета [1-5]. Следует отметить, что в публикациях, посвященных применению органических удобрений на радиоактивно загрязненных почвах, уделяется очень мало внимания птичьему помету, а информации по исследованиям с использованием перепелиного помета не обнаружено.

Цель исследования – оценить размер перехода ^{137}Cs в растения яровой пшеницы и гороха при внесении под них перепелиного помета и соломы, загрязненных радиоцезием.

Объекты и методы исследования. В лабораторно-вегетационных опытах использовали супесчаную и тяжелосуглинистую дерново-подзолистые почвы (табл. 1); наиболее распространенный долгоживущий радионуклид-загрязнитель Чернобыльской аварии – ^{137}Cs ; перепелиный помет, содержащий радиоцезий, полученный в процессе выполнения предыдущих опытов [6]; а также солому злаковых культур, загрязненную радиоцезием, которая была получена при выращивании растений на загрязненной ^{137}Cs почве с последующим размолом. Содержание гумуса определяли по Тюрину, подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову. В помете и соломе (табл. 2) содержание общего азота определяли по Йодельбауэру, фосфор и калий – после мокрого озольнения смесью Лоуренца. В опыте выращивали пшеницу яровую сорт «Комиссар», горох посевной сорт «Краснодар».

Опыты проводили на территории сектора радиологии кафедры агрономической, биологической хи-

мии и радиологии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Растения выращивали в течение 3 недель в сосудах типа TetraPak, навеска почв – 200 г, исходная активность вносимого радиоизотопа – 3 кБк на сосуд. Активность радиоцезия в разных вариантах с внесением органических материалов выравнивали смешиванием меченых и немеченых помета и соломы.

Схема опыта: 1 – контроль (в почву вносили минеральную форму ^{137}Cs в виде хлорида); 2 – меченная ^{137}Cs солома; 3 – меченный ^{137}Cs перепелиный помет. Для того, чтобы избежать явления биологического разбавления метки питание растений по азоту, фосфору и калию выравнивали по всем вариантам внесением соответствующих удобрений. Схема опытов предусматривала также два последовательных посева растений в одни и те же сосуды. Повторность опытов трехкратная. Активность радиоцезия в образцах растений и почвы определяли на автоматическом гамма-спектрометре Wizard 2480 PerkinElmer (США). Достоверность результатов оценивали по ошибке средней величины.

1. Агрохимическая характеристика опытных почв

Гумус, %	pH _{KCl}	Нг	S	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг-экв/100 г			мг/кг	
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва						
3,5±0,4	5,1±0,5	1,9±0,2	10,4±1,5	84,5	280±25	320±45
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
1,5±0,2	4,7±0,3	2,2±0,3	5,2±0,6	70,2	95±11	102±10

2. Содержание макроэлементов в перепелином помете и соломе, % сухого вещества

Источник ^{137}Cs	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Перепелиный помет	5,6±0,6	4,4±0,5	6,1±0,7
Солома	0,71±0,08	0,24±0,01	0,93±0,13

Результаты исследований. Трехнедельные проростки растений первого посева накапливали немного надземной массы в расчете на сухое вещество: 0,87-1,21 г/сосуд в вариантах с пшеницей и 0,91-1,50 – с горохом, выращенных на супесчаной дерново-подзолистой почве и соответственно 1,00-1,15 и 0,99-1,32 г/сосуд – на тяжелосуглинистой (табл. 3). Большинство различий между средними значениями оказалось недостоверно, что обусловлено выровненными уровнями питания растений по вариантам. Следует отметить тенденцию увеличения урожая обеих культур в случаях, когда вносили перепелиный помет.

Данные по накоплению сухой биомассы изучаемыми культурами второго посева не показали существенных различий по сравнению с первым. Так, для пшеницы урожайные данные составили 0,99-1,35, для гороха – 1,03-1,44 г сухой массы на сосуд. Гранулометрический состав также не оказывал существенного влияния на накопление биомассы растениями (табл. 3).

Результаты измерения удельной активности ¹³⁷Cs в сухой массе растений первого посева показали, что в контроле (вариант 1) ¹³⁷Cs поступал в растения пшеницы, выращенной на легкой почве в 30 раз интенсивнее, чем при внесении меченой соломы (вариант 2) и в 14 раз – чем в варианте с меченым перепелиным пометом. По-видимому, это связано с большей подвижностью радиоцезия, внесенного в легкую по гранулометрическому составу почву в минеральной форме, по сравнению с органическими источниками поллютанта. Такая же, даже более контрастная закономерность наблюдалась и для вариантов с проростками гороха: снижение поступления составило соответственно в 56 и 17 раз.

В вариантах с тяжелосуглинистой почвой радиоцезий, внесенный в виде хлорида поступал в растения гороха не так интенсивно – всего в 2,5 раза больше по сравнению с вариантом 2 и в 3,6 раза, чем в варианте 3, а для растений пшеницы разница была на грани достоверности (источник

3. Надземная масса растений, г сухой массы/сосуд. В числителе – первый посев; в знаменателе – второй

Вариант	Дерново-подзолистая почва	
	супесчаная	тяжелосуглинистая
Пшеница		
1	0,93±0,07 / 0,99±0,04	1,00±0,07 / 1,05±0,06
2	0,87±0,09 / 1,09±0,11	1,05±0,08 / 1,06±0,02
3	1,21±0,12 / 1,35±0,20	1,15±0,09 / 1,18±0,17
Горох		
1	1,12±0,12 / 1,21±0,09	1,21±0,11 / 1,16±0,19
2	0,91±0,04 / 1,11±0,05	0,99±0,10 / 1,03±0,37
3	1,50±0,14 / 1,44±0,17	1,32±0,15 / 1,19±0,70

Примечание. Здесь и в таблицах 4-6 – расшифровка вариантов дана в тексте (схема опыта).

4. Удельная активность ¹³⁷Cs надземной массы растений, Бк/г сухой массы. В числителе – первый посев; в знаменателе – второй

Вариант	Дерново-подзолистая почва	
	супесчаная	тяжелосуглинистая
Пшеница		
1	30,0±0,6 / 1,5±0,4	1,6±0,6 / 0,5±0,2
2	1,0±0,2 / 1,0±0,3	1,0±0,2 / 0,6±0,2
3	2,1±1,7 / 0,5±0,0	1,3±0,2 / 0,8±0,3
Горох		
1	28,0±1,5 / 2,1±0,1	2,5±0,3 / 1,9±0,1
2	0,5±0,02 / 0,4±0,0	1,0±0,1 / 0,9±0,2
3	1,7±0,4 / 0,7±0,2	0,7±0,1 / 0,5±0,2

поллютанта – солома) или несущественна вообще (источник – перепелиный помет).

Результаты опыта второго посева показали значительное снижение поступления ¹³⁷Cs в растения как пшеницы, так и гороха по сравнению с данными первого посева (табл. 4). Для проростков пшеницы в контроле снижение активности на супесчаной почве было в 20 раз; для гороха – в 13 раз. На тяжелосуглинистой почве также наблюдалось снижение активности ¹³⁷Cs в растениях пшеницы, но оно было менее значительным. Такие закономерности массопереноса связаны очевидно со свойствами опытных почв и особенностями поведения в них цезия, что в конечном счете определяло подвижность катионов цезия, а, следовательно, и доступность его растениям.

Основным носителем сорбционной емкости ¹³⁷Cs служит илистая фракция почв, и фиксация этого радионуклида связана с поступлением ионов цезия в межпакетное пространство кристаллических решеток глинистых минералов, или в межпакетное пространство слоистых глинистых минералов [7-11]. Содержание высокосорбирующих глинистых минералов в почвах тесно коррелирует с гранулометрическим составом почв, возрастая по мере утяжеления почвы, поэтому для опытов были взяты почвы контрастные по гранулометрическому составу. В результате в вариантах с тяжелосуглинистой почвой поступление радиоцезия в проростки пшеницы и гороха даже для контрольного варианта с внесением минеральной формы радионуклида было в гораздо меньших количествах по сравнению с выращиванием этих культур на супеси.

Другое свойство почв – содержание в них подвижного калия. Калий как химический аналог цезия конкурирует с ним в массопереносе в системе почва-растение и тем самым снижает поглощение ¹³⁷Cs растениями, что широко и эффективно используют в сельскохозяйственной практике – внесение повышенных доз калийных удобрений на землях, загрязненных ¹³⁷Cs для снижения коэффициентов накопления его растениями. Почвы, взятые для опытов, содержали значительное количество

5. Коэффициенты накопления ¹³⁷Cs растениями пшеницы и гороха. В числителе – первый посев, в знаменателе – второй посев

Вариант	Дерново-подзолистая почва	
	супесчаная	тяжелосуглинистая
Пшеница		
1	2,00 / 0,11	0,11 / 0,03
2	0,07 / 0,07	0,07 / 0,04
3	0,14 / 0,03	0,09 / 0,05
Горох		
1	1,90 / 0,14	0,17 / 0,13
2	0,03 / 0,03	0,07 / 0,06
3	0,11 / 0,05	0,05 / 0,03

подвижного К₂O – 102-320 мг/кг (табл. 1) и валового калия в перепелином помете (6,1%), большая часть которого доступна растениям. В других вариантах это количество калия до закладки опытов компенсировали минеральным удобрением сульфатом калия, что в свою очередь частично блокировало поглощение цезия проростками яровой пшеницы и гороха. И, наконец, содержание в почве и перепелином помете аммонийного азота. Ион аммония, как и ион калия, также может составлять конкуренцию иону цезия при поступлении их в растения [12].

По результатам таблицы 4 логично рассчитать коэффициенты накопления радиоцезия – Кн (отношение удельной активности ¹³⁷Cs в растении к удельной активности этого радионуклида в почве) проростками пшеницы яровой и гороха на разных почвах и в разные периоды посева (табл. 5). Наибольшие коэффициенты накопления ¹³⁷Cs проростками растений отмечаются в контрольном варианте на

супесчаной почве: 2,0 – для пшеницы и 1,9 – для гороха. Для остальных вариантов эти показатели были невелики и составляли не более 0,03-0,17. Следует отметить некоторые тенденции изменения коэффициентов накопления ¹³⁷Cs по вариантам. Это в большинстве случаев несколько меньшие Кн для гороха по сравнению с пшеницей, большие коэффициенты, полученные для супесчаной почвы, чем для тяжелосуглинистой меньшие Кн для растений первого посева по сравнению со вторым. Несмотря на высокую скорость сорбционных процессов, в отношении ¹³⁷Cs происходит снижение доступности его растениям со временем («старение» комплексов радиоцезия с компонентами почвы).

Таким образом, внесение меченых радиоцезием перепелиного помета и соломы злаковых культур в дерново-подзолистую почву существенно снижает поступление радионуклида в трехнедельные проростки яровой пшеницы и гороха. Размеры массопереноса ¹³⁷Cs в системе почва-растение были минимальными в вариантах с тяжелосуглинистой почвой по сравнению с супесчаной. Повторное выращивание тех же растений (последствие) приводило к заметному снижению коэффициентов накопления ¹³⁷Cs растениями пшеницы и гороха, которые были минимальными за исключением контрольных вариантов, где вносили минеральную форму метки. При внесении загрязненных ¹³⁷Cs соломы злаковых и перепелиного помета поступление этого радионуклида в растения на ранних стадиях их развития минимально.

Литература

1. Белова Н.В., Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Драганская М.Г. Эффективность применения различных видов органических удобрений на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Плодородие, 2007, № 1. – С. 37-39.
2. Подоляк А.Г. и др. Агрономическая и радиологическая оценка применения различных видов и доз органических удобрений при улучшении суходольных лугов, загрязненных ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr // Радиационная биология. Радиоэкология, 2007, т. 47, № 4. – С. 451-460.
3. Санжарова Н.И., Кузнецов В.К., Белова Н.В. Радиологическая оценка применения органических удобрений на почвах легкого механического состава // Научные труды Калужского филиала МСХА. – Калуга: Эйдос, 2008, вып. 8. – С. 15-18.
4. Санжарова Н.И., Панов А.В., Исамов Н.Н., Прудников П.В. Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве: к 30-летию на ЧАЭС // Агрехимический вестник, 2016, № 1. – С. 5-9.
5. Федоркова М.В., Белова Н.В., Санжарова Н.И. Динамика биологической подвижности ¹³⁷Cs при применении органических удобрений на дерново-подзолистой песчаной почве // Агрехимический вестник, 2012, № 1. – С. 18-21.
6. Фокин А.Д., Афанасьев Г.Д., Торшин С.П., Журавлева О.С. Цезий-137 в метаболизме перепелов // Известия ТСХА, 2010, № 3. – С. 60-69.
7. Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 132 с.
8. Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. Агрехимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. – М.: Атомиздат, 1968. – 472 с.
9. Бакунов Н.А., Юдинцева Е.В. К вопросу о снижении накопления ¹³⁷Cs в растениях при обогащении почв природными сорбентами // Агрехимия, 1989, № 6. – С. 90-96.
10. Титлянова А.А. Поведение цезия в почвах и слоистых минералах и накопление его в растениях: автореф. дисс. к.б.н. – Свердловск: Ин-т биологии УрО АН СССР, 1963. – 21 с.
11. Крымкин Д.В., Санжарова Н.И. и др. Накопление ⁹⁰Sr в ячмене при внесении природных и искусственных сорбентов в дерново-подзолистую супесчаную почву // Агрехимический вестник, 2013, № 6. – С. 20-22.
12. Санжарова Н.И., Сысоева А.А., Исамов Н.Н., Алексахин Р.М., Кузнецов В.К., Жигарева Т.Л. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Российский химический журнал, 2005, т. XLIX, № 3. – С. 26-34.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ТЕРМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРИ АВАРИИ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ

В.И. Титова, д.с.-х.н., **А.А. Ветчинников**, к.с.-х.н., **В.М. Гордеев**, аспирант

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, e-mail: titovavi@yandex.ru

Одним из негативных вариантов влияния человека на почвенный покров является воздействие на него открытого огня. Этот прием подготовки почв для сельскохозяйственных нужд применялся человечеством с древнейших времен, позволяя эффективно уничтожать естественный фитоценоз. Недостатком применения данного метода являлась значительно более высокая скорость истощения почв, что в конечном итоге и искоренило данную технологию. Однако проблема негативного воздействия открытого огня на почвенный покров земель сельскохозяйственного назначения с течением времени не исчезла и актуальна на сегодняшний день, хотя носит при этом случайный характер, приуроченный к техногенным авариям и катастрофам. Одним из вариантов подобного рода воздействий служат аварии на магистральных газопроводах высокого давления, сопровождающиеся факельным горением природного газа. Воздействие высокотемпературного пламени на почвенный покров приводит к специфическим изменениям физических, механических и агрохимических показателей в радиусе нескольких сотен метров от места аварии. В статье дана оценка характера изменения основных показателей почвенного плодородия темно-серой лесной почвы в зависимости от степени удаленности от эпицентра аварии. Выявлено, что в результате воздействия высоких температур в зоне с наиболее сильным повреждением происходит выгорание органического вещества, приводящее к более чем трехкратному снижению его содержания. Спекание и плавление почвенных минералов приводит в среднем к снижению подвижных форм фосфора и калия соответственно на 38 и 58%. Кроме того, воздействие высоких температур вызывает снижение содержания подвижных форм железа более чем в 4,5 раза. Выявленные особенности нужно учитывать при планировании мероприятий по рекультивации почв с частично или полностью выгоревшим плодородным слоем.

Ключевые слова: магистральный газопровод, пиролиз, темно-серые лесные почвы, гумус, подвижные формы фосфора и калия, рекультивация.

ASSESSMENT OF SOIL EXPOSED TO HIGH-TEMPERATURE EFFECTS IN THE ACCIDENT AT THE MAIN GAS PIPELINE

Dr.Sci. V.I. Titova, Ph.D. A.A. Vetchinnikov, Ph.D. V.M. Gordeev

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, e-mail: titovavi@yandex.ru

One of the negative options for human influence on the soil cover is the effect of fire on it. This method of preparing soils for agricultural needs has been used by mankind since ancient times to effectively destroy the natural phytocoenosis. The disadvantage of using this method was a much high speed of depletion of soils, which ultimately eradicated this technology. However the problem of the negative impact of open fire on the soil cover of agricultural land has not disappeared over time and is relevant even today, although it is of a casual nature associated with man-made accidents and catastrophes. One of the options for this kind of impact are accidents on high-pressure gas pipelines accompanied by flaring of natural gas. The effect of high-temperature flame on soil cover leads to specific changes in physical, mechanical and agrochemical indicators within a radius of several hundred meters from the site of the accident. The article gives an assessment of the nature of changes in the main indicators of soil fertility in dark gray forest soils, depending on the degree of remoteness from the epicenter of the accident. It is established that as a result of exposure to high temperatures in the zone with the most severe damage, organic matter burns out, resulting in a threefold decrease in its content. Sintering and melting of soil minerals leads on average to a decrease in mobile forms of phosphorus and potassium by 38% and 58%, respectively. In addition, the effect of high temperatures causes a decrease in the content of mobile iron forms by more than 4.5 times. Detected features should be considered when planning for soil recultivation with a partially or completely a burnt fertile layer of soil.

Keywords: main gas pipeline, pyrogenesis, dark gray forest soils, humus, mobile forms of phosphorus and potassium, recultivation.

Воздействие огня и повышенных температур на почвенный покров (пирогенез) – достаточно распространенное явление, имеющее как природное, так и антропогенное происхождение. При этом есть как мягкая форма данного воздействия (целенаправленное выжигание лугов для освобождения их от прошлогодней травы), так и более жесткое воздействие, что связано с лесными и торфяными пожарами в сухие и жаркие периоды. Во всех работах, связанных с изучением влияния пирогенеза на свойства почв, отмечается снижение запаса органического вещества в почвах и изменение его структуры [1-5]. В ряде публикаций отмечается увеличение в пирогенных почвах содержания биогенных макроэлементов, что обеспечивает ускоренное восстановление на их поверхности растительного покрова [1, 2]. Как правило, практически для всех почв, подвергшихся воздействию пожара, отмечается подщелачивание или нейтрализация реакции среды [6, 7], снижение гигроскопической влажности и увеличение плотности [8]. Однако большинство имеющихся литературных данных получено при исследовании почв, находившихся под воздействием лесных и торфяных пожаров. Исследований, связанных с пожарами на магистральных газо- и нефтепроводах, крайне мало, между тем термическое воздействие на почву при лесных пожарах и авариях на магистральных газопроводах весьма различно. Так, температура горения древесины варьирует в диапазоне 500-1000°C, а температура горения природного газа в среднем составляет около 1700°C [9]. Очевидно, что степень воздействия на почвенный покров в последнем случае будет более значимой. При этом, в соответствии со справочными данными [10], температура плавления окислов железа варьирует в диапазоне 1350-1583°C, для кварца она составляет 1610°, а температура плавления калиевого (ортоклаз) и натриевого полевых шпатов составляет соответственно 1200 и 1160°C. Таким образом, процессы выгорания органического вещества, представляющие собой основной вид негативной трансформации почвы при лесном пожаре, при сгорании природного газа дополняются процессами плавления и спекания почвенных минералов.

Цель исследования – подготовка заключения по характеристике почвы, подвергшейся негативному термическому воздействию, на основании данных агрохимического анализа почвенных проб, что в дальнейшем должно использоваться при разработке технологии рекультивации техногенно трансформированных земель сельскохозяйственного назначения.

Объекты и методы исследований. В результате аварийной разгерметизации трубы негативному термическому воздействию был подвергнут участок категории земель сельхозназначения общей

площадью около 20 га. Полевое обследование территории с отбором почвенных проб было проведено на третий день после взрыва. Установлено, что в 2017 г. в поле выращивали озимую пшеницу, на дату обследования урожай был убран, поверхность поля вспахана на глубину 25 см, имеются следы пожнивных остатков пшеницы в виде запаханной стерни. Отбор проб проведен в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». Этот стандарт предназначен для контроля общего и локального загрязнения почв в районах воздействия промышленных, сельскохозяйственных, хозяйственно-бытовых и транспортных источников загрязнения, при оценке качественного состояния почв естественного и нарушенного сложения, а также при контроле состояния плодородного слоя, предназначенного для землевания малопродуктивных угодий. Анализы почвенных проб выполнены в лабораториях кафедры агрохимии и агроэкологии Нижегородской ГСХА на сертифицированном оборудовании с использованием методов, рекомендованных ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова [11]. При оценке полученных значений использовали градации, принятые в агрохимической практике [12].

Результаты исследования. При визуальном осмотре территории установлено, что поверхность поля, пострадавшая в результате аварийной разгерметизации трубы на магистральном газопроводе и последующем факельном горении, имеет дифференцированную окраску, меняющуюся от пепельно-черной в эпицентре до терракотово-бурой к периферии. От периферии к центру обследуемого участка, в зависимости от интенсивности проявления буро-коричневой окраски почвы, были выделены зоны с различным по глубине и характеру техногенным воздействием на почву:

- зона I – поверхность поля, подвергшаяся техногенному термическому влиянию, с температурой воздействия не ниже 1500°C. Очень плотная, спекшаяся масса почвы, цвет темно-серый и черный, имеет стеклянный блеск, практически не раздавливается под массой человека, при разбивании лопатой издает металлический звук;

- зона II – поверхность поля, подвергшаяся техногенному термическому влиянию, с температурой воздействия в интервале 800-1100°C. Поверхность почвы выглядит как глинистый нанос с проективным покрытием территории в 75-50%. Цвет почвы буро-коричневый, глубина проявления бурой окраски цвета –1,5-2,5 см от поверхности почвы;

- зона III – поверхность поля, подвергшаяся техногенному термическому влиянию, со средней температурой воздействия порядка 120°C. Цвет почвы темно-серый цвет с буро-коричневыми и желтыми вкраплениями, которые проецируются на

25-50% площади и проявляются на глубине почвы от 0,5 до 1,5 см. Присутствуют обугленные остатки биоты в виде стеблей сорных трав, остатков стерни зерновых культур и сгоревших муравейников.

Обследуемый участок поля сложен темно-серыми тяжелосуглинистыми почвами. Гумусовый горизонт фоновой почвы имеет большую мощность и хорошую структуру. Профиль почвы в зоне II в верхней своей части представлен специфически окрашенным (пепельно-черная масса, на поверхности – рыжий выгоревший грунт) пирогенным горизонтом, по мощности превышающим гумусовый

(пахотный) горизонт естественной фоновой почвы (табл. 1).

Результаты анализа почвенных проб на основные агрохимические показатели (рН_{KCl}, C_{орг.}, подвижные фосфор и калий), а также показатели, позволяющие оценить устойчивость почв к негативному воздействию (сумма поглощенных оснований, гидролитическая кислотность, степень насыщенности почвы основаниями) и содержание в почве подвижных соединений железа приведены в таблице 2.

1. Описание почвенных разрезов

Горизонт	Глубина, см	Описание
<i>Разрез 1 – фон</i>		
A _{пах.}	0-30	Гумусовый горизонт (пахотный), окраска темно-серая, тяжелый суглинок, структура комковатая, рыхлый, свежий, много корней травянистой растительности, переход заметный по цвету и плотности, граница ровная.
A _{2B} (AB)	31-48	Переходный элювиально-иллювиальный горизонт, цвет буро-темно-серый, тяжелый суглинок, структура ореховато-комковатая, уплотненный, свежий, корней мало, на границах структурных отдельностей кремнеземистая присыпка и глино-гумусовые натеки, переход заметный по цвету, граница затечная.
B _g	49-78	Иллювиальный горизонт, цвет буровато-коричневый с палевыми пятнами, структура ореховато-призмовидная, плотнее предыдущего, свежий, имеются сизоватые пятна оглеения, по граням отдельностей глино-гумусовые натеки, переход постепенный по цвету.
BC _g	79-108 и ниже	Переходный горизонт, цвет палево-коричневый с темно-серыми пятнами, структура призмовидная, тяжелый суглинок, влажноватый, плотнее предыдущего, оглеение более интенсивно, чем в предыдущем горизонте.
<i>Разрез 2 – почва в зоне II</i>		
P	0-43	Пирогенный горизонт (выгоревший гумусовый), окраска черная, на поверхности рыжий выгоревший грунт, тяжелый суглинок, бесструктурный, уплотнен, местами спекшаяся трещиноватая масса, сухой, имеются отдельные остатки сгоревших корней, переход ясный по цвету и плотности, граница ровная.
B _p	44-65	Иллювиальный горизонт с признаками пирогенеза, цвет буро-темно-серый, тяжелый суглинок, структура ореховато-призмовидная, плотный, свежий, корней мало, на границах структурных отдельностей глино-гумусовые натеки, имеются включения обугленной органики, переход постепенный.
BC _g	66-100 и ниже	Иллювиальный горизонт, коричнево-палевый, бесструктурный, тяжелый суглинок, плотный, свежий, переход постепенный по цвету.

2. Анализа почвенных проб, отобранных в различных зонах территории, подвергшейся негативному термическому воздействию

Номер почвенной пробы	рН _{KCl}	Влажность	Углерод	Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe	S	H _r	V, %
12729592	7,38	15,0	2,48	4,27	46	198	6000	35,1	2,05	94
12729596	8,10	15,0	2,80	4,86	92	253	5000	43,3	1,54	97
Зона III		15,0	2,64	4,57	69	225	5500	39,2	1,80	96
12729593	6,45	10,5	2,64	4,55	72	204	1480	39,8	3,76	91
12729594	7,17	12,0	1,96	3,38	81	218	1520	32,1	3,15	91
12729601	6,77	10,0	2,12	3,65	62	137	2600	38,2	2,90	93
Зона II		10,8	2,24	3,86	72	186	1867	36,7	3,27	92
12729595	6,99	7,5	1,14	1,96	71	156	970	39,8	2,93	93
12729599	8,15	6,5	0,64	1,10	74	32	980	24,9	3,23	89
Зона I		7,0	0,89	1,53	73	94	975	32,4	3,08	91
Фон		15,8	3,04	5,23	110	249	4340	38,9	1,92	97

Примечание: фосфор и калий – подвижные формы по Кирсанову, железо – содержание подвижных соединений по ГОСТ 27395-87. Метод определения подвижных соединений двух- и трехвалентного железа по Веригиной-Аринушкиной.

Установлено, что фоновая почва (темно-серая лесная глинистая) имеет показатели, соответствующие ее типу: почва среднегумусированная, реакция среды – нейтральная, содержание подвижных соединений фосфора повышенное, а калия – высокое; степень насыщенности основаниями высокая. Все отмеченное характеризует фоновую почву хозяйства как устойчивую к неблагоприятным внешним воздействиям, не выходящим за пределы экологической катастрофы. Показатели агрохимического состояния почвы, подвергшейся сильному термическому воздействию, изменились весьма существенно. Так, содержание углерода (и, соответственно, гумуса) в почве зоны, где отмечено наиболее сильное термическое воздействие (зона I) в сравнении с фоновым содержанием углерода снизилось в 3,4 раза; в почве зоны II, где отмечено умеренное воздействие – на 26%, а в зоне III (слабое воздействие) – на 13%. Степень насыщенности основаниями также снижается от 97% на фоновом участке до 96%, 92 и 91% соответственно при движении от зоны со слабым пирогенным воздействием до зоны с сильным пирогенным воздействием. Содержание подвижных соединений фосфора в почве всех зон обследования ниже, чем в фоновом образце на 34-42%, без резких количественных колебаний в зависимости от степени негативного термического воздействия.

Одним из главных показателей состояния почв, подвергшихся сильному температурному воздействию, служит содержание подвижных форм железа. Результаты исследования свидетельствуют о резком изменении содержания в почве подвижного железа, что является явным следствием интенсивного термического воздействия на почвенный покров. Железо относится к элементам, обеспечивающим плодородие почв. В частности, его соединения, входя в состав глинистых минералов и связывающих минеральные зерна компонентов, участвуют в структурообразовании почвы. Железо также входит в состав ферментов и участвует в образовании хлорофилла. Недостаток доступного железа вызывает хлороз растений. По сравнению с участком, на котором определен слабый уровень воздействия, в почве участка, подвергшегося сильной трансформации, отмечено снижение содержания подвижных форм данного элемента на 82%.

Температура пламени природного газа существенно выше температуры плавления основных почвенных минералов, что привело к их глубокой трансформации и формированию массы, аналогичной по морфологии шлакам. Этот процесс имеет целый ряд негативных последствий, отражающихся на плодородии почвы и возможности ее использования в сельскохозяйственном производстве. Следствием воздействия высокой температуры является сплавление или спекание минеральных зерен и агрегатов.

При этом в почве и подстилающих грунтах снижается доля илистых частиц, обеспечивающих удерживание в плодородном слое элементов питания, образующихся в ходе выветривания почвенных минералов и вносимых с минеральными и органическими удобрениями. Сельскохозяйственные культуры на таких почвах будут испытывать нехватку элементов для формирования вегетативной массы, а элементы, вносимые с почвой с удобрениями, будут вымываться с осадками в нижележащие горизонты за пределы корнеобитаемого слоя и в подземные воды.

Снижение содержания в почвах подвижного железа коррелирует с еще целым рядом почвенных характеристик. К таковым можно отнести снижение влагообеспеченности почв и водоудерживающей способности. Этот факт подтверждается результатами определения влажности термически нарушенных почв – содержание воды в почвах на участке со слабым уровнем воздействия составило 15%, в то время как на сильно нарушенных участках этот показатель составил только 7%. Можно отметить корреляцию снижения содержания в почвах подвижного железа и резкого падения обеспеченности почвы калием и другими элементами питания растений. В ходе исследования установлено снижение содержания подвижного калия на 58%. В значительной степени этот факт обусловлен термической трансформацией глинистых минералов, являющихся основой фонда элементов питания в почве.

Выводы. Визуальный осмотр и результаты агрохимического анализа почвенных проб позволили выделить **три** зоны с различным по глубине и характеру техногенным воздействием на почву: **I** – эпицентр аварийной ситуации и сильная степень воздействия; **II** – средняя степень негативного воздействия и **III** – слабая степень техногенного воздействия. Наличие крупных шлаковых образований в зоне **I** делает невозможной сельскохозяйственные работы на этом участке, т.к. может привести к порче и разрушению почвообрабатывающих агрегатов. Ситуация усугубляется тем, что шлакоподобные образования достаточно инертны к воздействию почвообразующих факторов и их разрушение естественным путем займет чрезвычайно длительный период. При этом традиционные способы рекультивации почв не позволяют перевести эти образования в исходное состояние и практически единственным способом освобождения почвы от шлаковых и шлакоподобных масс может быть только их механическое удаление, размещение на специализированных полигонах или утилизация в качестве неплодородных инертных грунтов в строительных целях. Дальнейшее использование этого участка в сельскохозяйственных целях потребует длительной его рекультивации. Почвы в зонах **II** и **III** подлежат биологической рекультивации после тщательно выполненного технического этапа ре-

культивационных работ. При этом в технологию рекультивации пирогенно преобразованных почв обязательно должны быть включены мероприятия по внесению органических и минеральных удобрений

в определенной последовательности для почв разных зон воздействия, что потребует различного времени для их выполнения (разного периода рекультивации).

Литература

1. Горбунова Ю.С., Девятова Т.А., Григорьевская А.Я. Влияние пожаров на почвенный и растительный покров лесов центра Русской равнины // Вестник ВГУ, сер. А. Химия. Биология. Фармация, 2014, № 4. – С. 52-56.
2. Голощапова Ю.Ю., Калининко Н.А. Влияние пожара на органическое вещество темно-серых лесных почв // Омский научный вестник, 2012, № 1(108). – С. 217-220.
3. Шапченкова О.А., Краснощекоев Ю.Н., Лоскутов С.Р. Использование методов термического анализа для оценки органического вещества почв, пройденных пожарами // Почвоведение, 2011, № 6. – С. 738-747.
4. Бадмажапова И.А., Гынинова А.Б., Гончиков Б.Н. Изменение химических свойств осушенных торфяных почв под влиянием огневого фактора // Вестник КрасГАУ, 2014, № 5. – С. 50-55.
5. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Брянин С.В. Влияние лесных пожаров на гумусово-энергетическое состояние буроземов Приамурья // Вестник КрасГАУ, 2012, № 5. – С. 121-124.
6. Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г., Ананьева Ю.С., Завалишин С.И., Каменский В.А. Влияние лесных пожаров на свойства подзолистых почв (на примере Ханты-Мансийского автономного округа) // Лесной вестник, 2002, № 2. – С. 66-70.
7. Горбунова Ю.С. Трансформация состава и свойств почв лесостепи под влиянием лесных пожаров: автореф. дисс. к.б.н., 2013. – 24 с.
8. Коган Р.М., Панина О.Ю. Исследование влияния лесных пожаров на почвы широколиственных лесов (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы, 2010, т. 13, № 1. – С. 67-70.
9. Справочник спасателя. Книга 5. Спасательные и другие неотложные работы при пожаре. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2006. – 88 с.
10. Физические величины. Справочник / под ред. Григорьева, Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
11. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ВНИИА, 2003. – 195 с.
12. Титова В.И и др. Справочник агронома-эколога. – Нижний Новгород: НГСХА, Нижегородский НИИСХ РАСХН, 2012. – 75 с.



АГРОЭКОЛОГИЯ

Учебное пособие / В.И. Титова. – Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2018. – 207 с.

Рекомендовано Научно-методическим советом УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству (экспертное заключение № 35 от 28.12.2017 г.) для использования в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение.

ISBN 978-5-9909992-3-7

В работе дан краткий обзор истории формирования агроэкологического знания; проанализирован понятийный аппарат сельскохозяйственной экологии; приведены количественные параметры функционирования составных частей агроэкосистемы; описаны основные природные ресурсы, используемые в земледелии; освещены проблемы интенсификации

сельскохозяйственного производства, возможности оценки устойчивости и оптимизации агроэкосистем, вопросы деградации почв земель сельхозназначения и краткие рекомендации по их рекультивации, а также основные аспекты современных технологий биологизации земледелия.

Рекомендуется при освоении курса «Сельскохозяйственная экология», «Охрана окружающей среды и рациональное природопользование», «Оценка воздействия на окружающую среду», «Экологическая экспертиза», «Эколого-правовые основы землепользования» может быть востребовано в аграрной практике, а также специалистами государственных природоохранных структур и экологических экспертных организаций.

ИЗУЧЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

УДК 631.48:631.618:630*114.5:630*43

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В КАЧЕСТВЕ МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОСТПИРОГЕННЫХ ПОЧВ

Е.Ю. Максимова (научный руководитель – **Е.В. Абакумов**, д.б.н., СПбГУ)
Институт экологии Волжского бассейна РАН, e-mail: doublemax@yandex.ru

Лесные пожары служат важным фактором, нарушающим ход естественных процессов в лесу, являются. При восстановлении постпирогенных территорий в настоящее время совершенно не учитывают почвенные свойства, которые претерпели заметные изменения, причем не в лучшую сторону. Для восстановления лесных экосистем и плодородия почв необходимо провести мелиоративные мероприятия. В качестве мелиоранта предлагается использовать продукт Life Force Humate Balance, а также сравнить его действие с гуматами Na, полученными методом окислительно-гидролитической деструкции из коровьего навоза. Эксперимент проводили на территории соснового бора в районе г. Тольятти Самарской области. Были исследованы участки, подверженные в 2010 г. низовым и верховым пожарам. В начале июня 2017 г. на двух участках заложены 5 делянок площадью 10 м² каждая, на которых вносили удобрение Life Force Humate Balance в количестве 100, 300, 500, 800 и 1000 г. При проведении эксперимента установлено, что использование комплексного удобрения положительно влияет на микробное состояние постпирогенных почв, причем при верховом пожаре в большей степени. Показана также важность подбора оптимальной дозы удобрения – 300-500 г на 10 м² – как снижение, так и превышение этой дозы ведет к нивелированию позитивных изменений.

Ключевые слова: почвы, лесные пожары, постпирогенные сукцессии, восстановление лесных ресурсов, комплексное удобрение Life Force Humate Balance, гуминовые кислоты, микробное состояние почв, биомасса микроорганизмов, базальное дыхание почв.

EVALUATION OF HUMIC PRODUCTS APPLICATION AS AMELIORANTS FOR DEGRADED POST-PYROGENIC RECLAMATION SOILS

E.Yu. Maksimova (scientific supervisor – **Dr.Sci. E.V. Abakumov**, St. Petersburg State University)
Institute of Ecology of Volga Basin of Russian Academy of Science (RAS), e-mail: doublemax@yandex.ru

Forest fires is an important factor that disturbs natural processes in the forest. Today, soil properties which have undergone significant changes and not for the better are not taken into account when restoring post-pyrogenic territories. It is necessary to carry out melioration measures to restore forest ecosystems and soil fertility. It is recommended to use Life Force Humate Balance product as a soil ameliorant and to compare its effect with humates Na obtained from cow manure by the oxidative-hydrolytic destruction method (the author's earlier studies). The experiment was conducted on Stavropol pine forest of Togliatti city, Samara region. In 2010 the territory has been exposed to surface and crown forest fires. At the beginning of June 2017, there were carried out 5 experimental plots 10 m² each. Life Force Humate Balance fertilizer was applied in the quantity of 100, 300, 500, 800 and 1000 grams during the experiments. It was established that the application of fertilizers complex positively effects of optimal dosage of fertilizers on microbial condition of post pyrogenic soils especially after crown fires. It was also shown the importance of application – 300-500 g per 10 m². Both reduction and excess of the doses lead to a leveling of positive effects.

Keywords: soils, wildfires, post-pyrogenic successions, reclamation of forests resources, complex fertilizer Life Force Humate Balance, humic acids, microbial soil status, soil microbial biomass, basal respiration.

Для лесных экосистем характерны демулационные смены (сукцессии), вызванные, наряду с динамикой климата, воздействием природных (ветроваль, вспышки численности вредителей), природно-

антропогенных (пожары) и антропогенных (лесозаготовки) явлений. Роли лесных пожаров в естественной динамике экосистем посвящено значительное количество публикаций [1-8], поскольку

они служат самым мощным экологическим фактором среди других причин, определяющих структуру и динамику развития лесов и, соответственно, экологическое состояние территории. Почвенный покров является частью лесной экосистемы и тем самым также испытывает на себе разностороннее влияние пожаров. Поэтому лесные пожары следует учитывать при изучении различных аспектов деградации почвенного покрова, что обусловлено их специфическим воздействием на окружающую среду. Много внимания уделяется проблеме постпирогенного изменения почв, их свойств, режимов и функций [9-15]. Восстановление послепожарных территорий в настоящее время ведется путем посадки молодых сосен, однако совершенно не учитываются почвенные свойства, которые претерпели заметные изменения, причем не в лучшую сторону. Функционирование почв после пожаров связано с трансформацией органогенных горизонтов в результате пирогенного воздействия [16]. Лесная подстилка и гумусовый горизонт (среда обитания почвенной фауны и микроорганизмов) наиболее сильно подвергаются пирогенному воздействию [17]. Смена температурного режима и растительности в результате действия пожара приводит к изменению микробного сообщества почвы и ее биологических свойств в целом. Для восстановления лесных экосистем в целом, и плодородия почв в частности, необходимо проводить мелиоративные мероприятия.

Одним из актуальных направлений в наши дни служит применение комплексных удобрений на основе гуминовых кислот. В литературе накоплен большой объем информации по выявлению влияния гуминовых веществ на рост и развитие растений, урожайность сельскохозяйственных культур в различных условиях [18-24]. Однако механизмы воздействия подобных удобрений на биологическую активность почв изучены слабо.

Цель работы – изучение свойств постпирогенных почв (в частности, микробиологической активности) после внесения гуминового препарата Life Force Humate Balance, а также сравнение его действия с гуматами Na, полученными методом окислительно-гидролитической деструкции из коровьего навоза.

Объекты и методы. Для изучения эффективности мелиоративных мероприятий на постпирогенных участках были выбраны степные островные сосновые боры в районе г. Тольятти, подвергшиеся воздействию катастрофических лесных пожаров в июле 2010 г. (площадь, пройденная огнем, составила 2087 га, в том числе 1037 га пройдено верховым пожаром). Островные сосновые боры сформированы на песчаных и супесчаных отложениях эолового или аллювиального происхождения в суббореальном климате. Это территория Ставропольского соснового бора (53°29'43.80" N, 49°20'56.44" E, 179 м над у.м.).

Объектами настоящего исследования были серогумусовые супесчаные почвы с признаками развития альфегумусового процесса без формирования самостоятельного подзолистого горизонта на древних аллювиальных волжских песках – Eutric Fluvisol Arenosols (Ochric) (WRB, 2014). Эксперименты проводили на 2 участках: после низового пожара в конце июля 2010 г. – выгорание нижнего яруса с частичным повреждением древостоя; после верхового пожара в конце июля 2010 г. – полное выгорание растительности. Для сравнения с контролем использовали аналогичные участки леса с таким же типом почв, но не подвергавшиеся горению (удаление около 1 км от пирогенного воздействия).

Пробные площадки локализованы на выровненной территории верхней части юго-западного склона дюнного повышения. На каждом участке в начале июня 2017 г. были заложены 5 делянок по 10 м², на которых были однократно вручную внесены разные дозы удобрения Life Force Humate Balance, имеющего в своем составе до 40% калиевых солей гуминовых кислот и 60% натуральных гуминовых кислот из лигнитов и суббитуминозных углей. Схема эксперимента приведена в таблице 1.

Пробы почв (в пятикратной повторности) для последующего анализа отбирали с поверхности 3 раза: в начале июля, августа и сентября 2017 г. Точки отбора проб были постоянными. Непосредственно сразу после пробоотбора, образцы были проанализированы в лаборатории.

Эффективность применения удобрений оценивали по динамике биологической активности почв, в частности в почвенных образцах определяли следующие показатели: рН [25]; интенсивность выделения CO₂ почвы V_{basal} [26] (выражали в мг CO₂/100 г почвы·сутки; содержание углерода микробной биомассы (C_{mic}) методом фумигации [27, 28] (результаты по C_{mic} не приведены из-за ограниченного объема статьи, но приведены данные, рассчитанные с использованием C_{mic}, например, микробный метаболический коэффициент). Функциональную активность микробного сообщества почвы оценивали значением микробного метаболического коэффициента (qCO₂), который рассчитывали как отношение скорости дыхания микробного сообщества к величине микробной биомассы:

$$qCO_2 = V_{basal} (\text{мкг С-CO}_2/\text{ч})/\text{мкг C}_{mic}$$

1. Схема эксперимента на каждом участке (верховой и низовой пожар)

№ делянки	Доза внесения, г	Способ внесения	Площадь, м ²
1	100	В почву равномерно по всей делянке	10
2	300	В почву равномерно по всей делянке	10
3	500	В почву равномерно по всей делянке	10
4	800	В почву равномерно по всей делянке	10
5	1000	В почву равномерно по всей делянке	10

Степень нарушения микробного сообщества почвы определяли как соотношение величин микробных коэффициентов в нарушенной и ненарушенной почве ($C_{нар} = qCO_2_{нар} / qCO_2_{нн}$). Величины, превышающие 1, так же, как и значительно ниже 1, свидетельствуют о нарушении устойчивости почвенного микробного комплекса [29].

Численность бактерий, длину мицелия грибов и актиномицетов в исследуемых образцах определяли методом люминесцентной микроскопии после окрашивания препаратов почвенной суспензии красителем акридином оранжевым (микроскоп Axioscope 2+, объектив $\times 100$ ($\times 40$ для мицелия грибов), масляная иммерсия) [30]. Расчет количества бактериальных клеток или длины мицелия в почве проводили по уравнению:

$$N = S_1 \cdot a \cdot n / V \cdot S_2 \cdot C,$$

где N – число клеток (длина мицелия, мкм) в 1 г почвы; S_1 – площадь препарата, мкм²; a – количество клеток, длина мицелия, мкм в одном поле зрения, среднее по всем препаратам, для одного образца, готовили 3 препарата для количественного учета мицелия грибов и 2 препарата для подсчета бактерий и длины мицелия актиномицетов; n – показатель разведения почвенной суспензии, мл; V – объем капли, наносимый на стекло, мл; S_2 – площадь поля зрения микроскопа, мкм²; C – навеска воздушно-сухой почвы, г.

После этого рассчитывали биомассу микроорганизмов, принимая во внимание, что масса бактериальной клетки объемом 0,1 мкм³ составляет $2 \cdot 10^{-14}$ г, 1 м актиномицетного мицелия диаметром 0,5 мкм – $3,9 \cdot 10^{-8}$ г, 1 м грибного мицелия – $0,628 \cdot r^2 \cdot 10^{-6}$ г [30, 31]. Экспериментальные данные сравнивали с результатами по оценке влияния гуматов Na, полученных методом окислительно-гидролитической деструкции из коровьего навоза, на биологические свойства исследованных почв (более ранние исследования).

В рамках данной работы не ставилась задача посева культур, т.к. объектом исследования являются лесные экосистемы и их восстановление после лесных пожаров. Эффективность применения комплексного удобрения Life Force Humate Balance с точки зрения скорости роста растений оценивали по высоте выросшей на месте деланки травянистой растительности. Полученные данные статистически обрабатывали общепринятыми методами с применением пакета MS Excel 2007 и программного обеспечения SIGMAPLOT 8.0.

Результаты и обсуждение. В постпирогенных почвах формируется новый маломощный (0-5 см) пирогенный горизонт (AY_{pir}), свойства которого отличаются от природных аналогов. Влияние пожаров на почвы сопровождается сдвигом кислотности водной вытяжки в сторону нейтрализации. Это объясняется тем, что в результате пиролиза подстилки,

ведущего к снижению запасов водорастворимого органического вещества и повышению концентраций зольных элементов, водорастворимые компоненты золы, проникая в почву, насыщают поглощающий комплекс щелочноземельными элементами и вызывают сдвиг реакции среды к нейтральному значению. Динамика активной реакции pH при различных дозах внесения удобрений представлена раздельно для каждого участка на рисунке 1.

Внесение удобрения Life Force Humate Balance приводит к еще большему увеличению pH, причем после низового пожара в большей степени. В целом зависимости дозы внесения агрохимиката от степени изменения значений pH не наблюдается, однако все-таки просматривается некоторая тенденция увеличения pH с увеличением дозы в случае верхового пожара. Для фонового участка значение pH – около 6,3; гуматы Na из коровьего навоза повышают этот показатель до 7,2 единиц. Спустя некоторое время после внесения удобрения pH среды верхних горизонтов понижается с 8,5-9,2 единиц (в начале эксперимента) до 7,8-8,3 (в сентябре 2017 г.) – они выравниваются и по своим абсолютным величинам приближаются к тем показателям, которые были до начала опыта. Это явление вполне

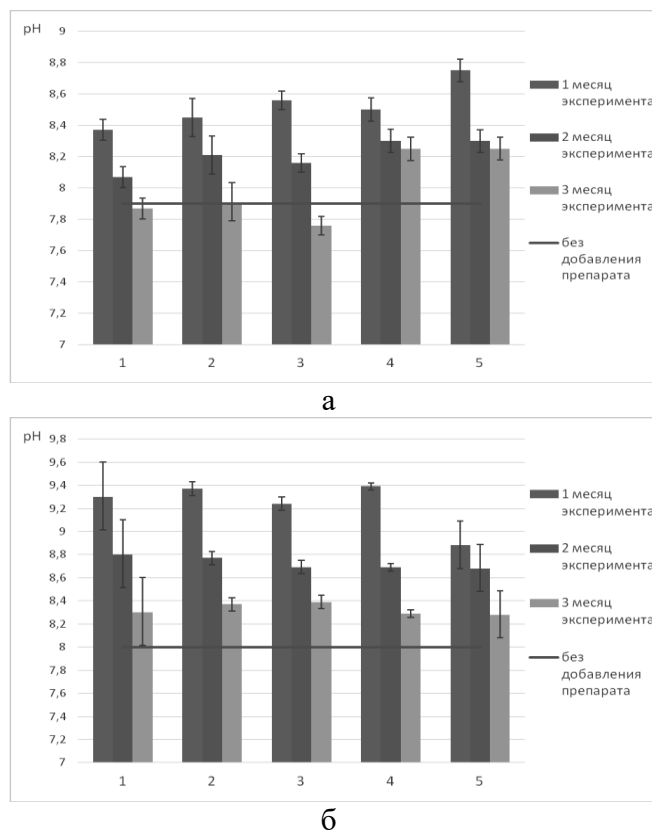


Рис. 1. Изменение значений pH при различных дозах внесения комплексного удобрения Life Force Humate Balance. Условные обозначения: по оси абсцисс – номер деланки в соответствии с таблицей 1; по оси ординат – значения pH; а – после верхового и б – после низового пожара

объяснимо – дождевые воды выносят растворимые компоненты, т.е. происходит довольно полный вынос щелочных элементов из верхних горизонтов почв в местах пожаров. Чем больше атмосферных осадков, тем быстрее промывается почвенная толща. Кроме того, на интенсивность промывания почвенного профиля влияют также гранулометрический состав почв, рельеф (экспозиция склона и угол наклона) и другие факторы. После низового пожара главным движущим фактором является свежий растительный опад, поступающий на поверхность, при верховом – поверхностная водная эрозия.

Существенно изменяется и биологическая активность почв. Базальное дыхание исследуемых почв изменялось в широком интервале значений, в поверхностном горизонте от 36,2 до 87,5 мг CO₂/100 г в сутки для экспериментальных делянок и от 30,98 и 38,85 мг CO₂/100 г в сутки для постпирогенных почв до начала опыта; для фоновой почвы характерно значение 251,45 мг CO₂/100 г в сутки, а почв, обработанных гуматами Na, – в среднем, 49,2 мг CO₂/100 г в сутки (рис. 2). Спустя один месяц после начала эксперимента максимум скорости базального дыхания наблюдается при внесении максимального количества удобрений, т.е. зависимость прямо пропорциональная, тогда как спустя 2-3 месяца наиболее высокая интенсивность дыхания отмечается при внесении 500 и 800 г на 10 м² и 300 и 500 г на 10 м² в случае верхового и низового пожаров соответственно. По-видимому, это обусловлено усилением секреции корневых выделений выросшими растениями под влиянием компонентов используемого агрохимиката.

Интегральным показателем состояния и устойчивости микробного сообщества почвы может служить микробный метаболический коэффициент, характеризующий удельное дыхание (рис. 3). Показано, что величина qCO₂ верхних горизонтов, весьма чувствительно откликается на пирогенный фактор, как и базальное дыхание, и микробная биомасса. Причем между показателями метаболического коэффициента и C_{mic} и V_{basal} в изученных почвах отмечается обратная зависимость. При внесении комплексного удобрения наблюдается снижение показателя qCO₂ и постепенное приближение его к значениям контрольного участка – 0,0054. В почвах после верхового пожара метаболическая активность микробного сообщества в меньшей степени подвержена изменениям в связи с тем, что в случае низового пожара происходит полное выгорание лесной подстилки и верхнего гумусового горизонта и соответственно более существенная перестройка микробного сообщества. Спустя один месяц после начала эксперимента минимум qCO₂ наблюдается при внесении 500 г на 10 м². Видимо, все-таки высокие дозы удобрений имеют побочные эффекты,

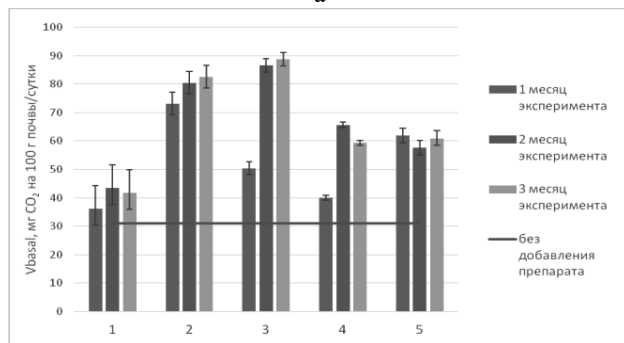
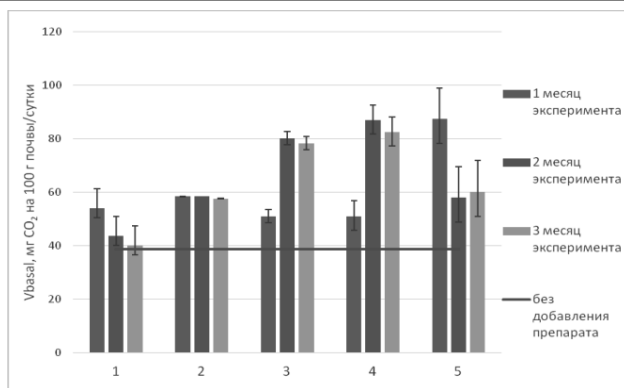


Рис. 2. Изменение значений базального дыхания почв (V_{basal}) при различных дозах внесения комплексного удобрения Life Force Humate Balance. Условные обозначения см. рис. 1

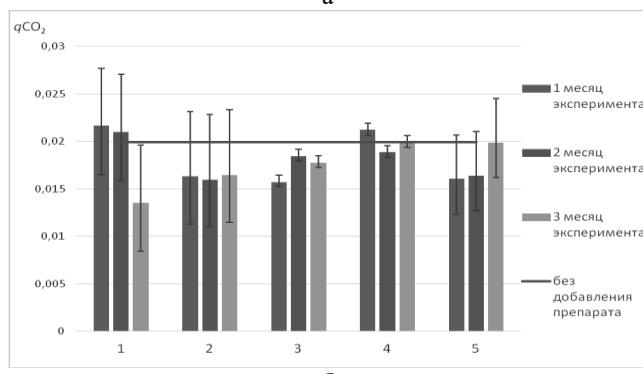
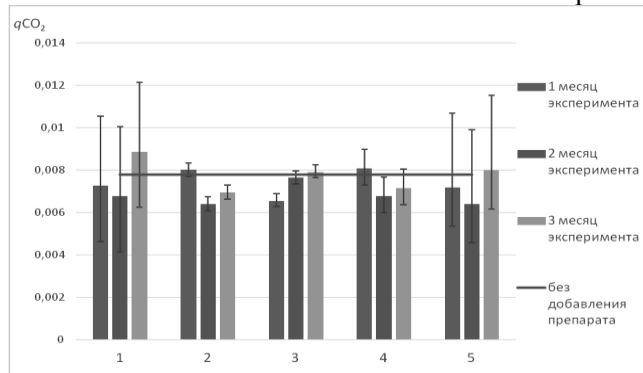


Рис. 3. Изменение значений микробного метаболического коэффициента (qCO₂) при различных дозах внесения комплексного удобрения Life Force Humate Balance. Условные обозначения см. рис. 1

выражающиеся в негативном влиянии на биологическую активность почвы. Спустя 2-3 месяца наиболее оптимальным для микробного состояния почв является доза в 300 г на 10 м².

Степень нарушения микробного сообщества почвы определяли по соответствующему коэффициенту (табл. 2). Наибольшая степень нарушенности микробоценозов ($C_{нар} = 2,51-4,01$) отмечена в почве после низового пожара. В почвах, подверженных действию верхового пожара, этот показатель значительно меньше по сравнению с низовым пожаром ($C_{нар} = 1,18-1,64$). Данный показатель по отношению к дозам внесения агрохимиката коррелирует со значениями микробного метаболического коэффициента.

Кроме того, в рамках данного исследования были определены численность и биомасса бактерий, длина и биомасса грибов и актиномицетов. На основе этого были рассчитаны биомасса прокариот (бактерий и актиномицетов) и эукариот (грибов), а также суммарная биомасса (в данной статье приведены результаты только по суммарной биомассе – рис. 4). В фоновой почве общая биомасса составила 204,88 мкг/г; гуматы Na дают биомассу в 35,6 мкг/г; в результате действия лесных пожаров биомасса микроорганизмов существенно снижается, причем после низового пожара в большей степени. Внесение мелиоранта значительно повышает данный показатель, и возможно спустя несколько вегетативных сезонов количество микроорганизмов будет соответствовать фоновому значению. Через месяц после внесения удобрения максимальная биомасса наблюдается при внесении 1000 г, однако спустя 2-3 месяца наиболее оптимальным оказывается вариант с 100-300 г агрохимиката на 10 м². Доля прокариотной биомассы в общей биомассе микроорганизмов составляла около 30% для всех вариантов.

Отмечено также положительное влияние (табл. 3) изучаемого препарата на высоту травянистой растительности, самостоятельно развивающейся на постпирогенных участках. На делянках после верхового пожара отмечается более интенсивное восстановление растительности, и наблюдается похожая зависимость дозы внесения удобрения от прибавки по высоте растений, как и в ситуации с мик-

2. Степень нарушения микробного сообщества почв

№ делянки	Верховой пожар			Низовой пожар		
	месяц эксперимента					
	1	2	3	1	2	3
1	1,34	1,25	1,64	4,01	3,89	2,51
2	1,48	1,19	1,29	3,02	2,95	3,05
3	1,21	1,41	1,46	2,91	3,41	3,29
4	1,50	1,25	1,32	3,93	3,50	3,69
5	1,33	1,18	1,48	2,98	3,04	3,68

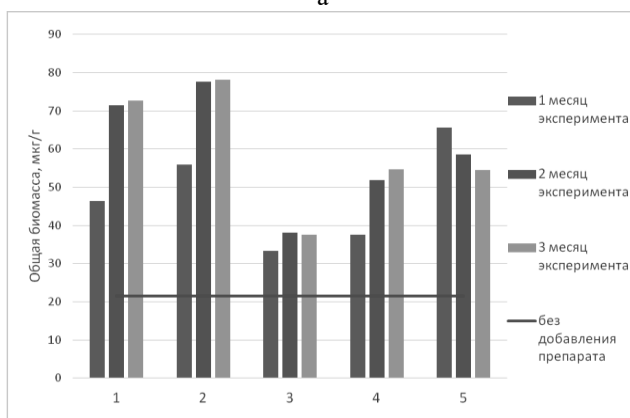
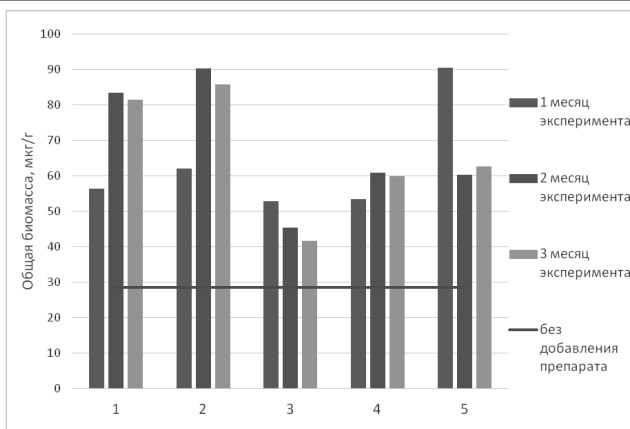


Рис. 4. Изменение значений биомассы эукариот и прокариот при различных дозах внесения комплексного удобрения Life Force Humate Balance. Условные обозначения см. рис. 1

3. Динамика изменения высоты травянистой растительности при применении комплексного удобрения Life Force Humate Balance, см

№ делянки	Верховой пожар			Низовой пожар		
	месяц эксперимента					
	1	2	3	1	2	3
1	2,5	8,1	12,5	2,3	6,4	8,6
2	3,2	9,3	13,7	3,8	6,5	8,8
3	2,9	4,3	6,6	1,3	3,0	5,5
4	2,4	6,9	7,9	1,5	3,9	5,6
5	5,6	6,4	8,6	4,5	5,5	6,4

робным почвенным сообществом – после первого месяца опыта – максимум при внесении 1000 г на 10 м², а после 2-3 месяцев – в среднем при 300 г на 10 м².

Таким образом, обработка постпирогенных почв комплексным удобрением Life Force Humate Balance на основе гуминовых кислот выполняет стресс-протекторную роль не только для растений, но и для микробного сообщества корнеобитаемого слоя почвы, что может иметь значение для восстановления почвенного плодородия.

Литература

1. Добровольский Г.В. Деградация и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
2. Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 168 с.
3. Gonzalez-Perez J.A., Gonza'lez-Vila F.J., Almendros G., Knicker H. The effect of fire on soil organic matter – a review // *Environment International*, 2004, V. 30. – P. 855-870.
4. Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А., Тарасов П.А., Богородская А.В. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края // *Сибирский экологический журнал*, 2005, № 1. – С. 143-152.
5. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // *Oecologia*, 2005, V. 143. – PP. 1-10.
6. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // *Вестник Московского Университета, сер. 5, География*, 2009, № 3. – С. 66-74.
7. Богородская А.В., Краснощекова Е.А., Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А. Послепожарная трансформация микробенозов и комплексов беспозвоночных в почвах сосняков Центральной Сибири // *Сибирский экологический журнал*, 2010, № 6. – С. 893-901.
8. Certini G. Fire as a soil-forming factor // *Ambio.*, 2013, V. 43, I. 2. – PP. 191-195. doi:10.1007/s13280-013-0418-2.
9. Антипова А.В., Прохорова Н.В. Изучение постпирогенных процессов в естественных и искусственных сосновых лесах Самарской области // *Вестник Самарского ГУ, Естественная серия, Биология*, 2012, № 3/1(94). – С. 173-179.
10. Скрипникова Е.В., Скрипникова М.К. Особенности развития микробиоты почв после воздействия пирогенного фактора // *Вестник ТГУ*, 2013, т. 18, вып. 3. – С. 905-909.
11. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // *Почвоведение*, 2014, № 2. – С. 144-154.
12. Pereira P., Ūbeda X., Mataix-Solera J., Oliva M., Novara A. Short-term changes in soil Munsell colour value, organic matter content and soil water repellency after a spring grassland fire in Lithuania // *Solid Earth*, 2014, V. 5. – PP. 209-225, doi:10.5194/se-5-209-2014.
13. Гонгальский К.Б. Закономерности восстановления сообществ почвенных животных после лесных пожаров: автореф. дисс. д.б.н. – М.: Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, 2015. – 43 с.
14. Jimenez-Gonzalez Marco A, De la Rosa Jose Maria, Jimenez-Morillo Nicasio T. Post-fire recovery of soil organic matter in a Cambisol from typical Mediterranean forest in Southwestern Spain // *Science of the total environment*, 2016, V. 572. – PP. 1414-1421.
15. Башкин В.Н., Завалин А.А., Жеребцова Г.В., Прохоров И.С., Карпова Д.В. и др. Программа первоочередных мероприятий по оздоровлению городских почв. – М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, 2004. – 198 с.
16. Краснощеков Ю.Н. Постпирогенная трансформация почв сосновых лесов в юго-западном Прибайкалье // *Вестник КрасГАУ*, 2009, № 9. – С. 60-65.
17. Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2001, № 1. – С. 132-165.
18. Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. – Киев: Наукова думка, 1995. – 303 с.
19. Христева Л.А. Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления / Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Харьков, 1957, т. 1. – С. 75-94.
20. Guminski S. The effect of humus compounds on some physiological processes and plant nutrition // *Transact. Intern. symp. «Humus et Planta IY»*. Prague, 1967. – P. 255.
21. Varga L., Ducsay L. Influence of sodium humate on the yield and quality of green pepper // *Hort. Sci. (Prague)*, 2003, V. 30. – PP. 116-120.
22. Якименко О.С., Терехова В.А. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации // *Почвоведение*, 2011, № 11. – С. 1334-1343.
23. Бирюкова О.Н., Орлов Д.С. Период биологической активности почв и его связь с групповым составом гумуса // *Научн. докл. высш. школы, биол. науки*, 1978, № 4. – С. 115-118.
24. Полиенко Е.А. Экологическая оценка влияния гуминовых препаратов на состояние почв и растений: автореф. дисс. к.б.н. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2016. – 24 с.
25. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
26. Федорова Н.Н. Методические указания к курсу «Биологические методы исследования почв». – СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. – 8 с.
27. Dunn P.H., Barro S.C., Poth M. Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral soil // *Soil Biol. Biochem.*, 1985, V. 17. – PP. 143-148.
28. Jenkinson D.S., Powlson D.S. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass // *Soil Biol. Biochem.*, 1976, № 8. – PP. 209-213.
29. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. – М.: Наука, 2003. – 222 с.
30. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
31. Кожевин П.А., Полянская Л.М., Звягинцев Д.М. Динамика различных микроорганизмов в почве // *Микробиология*, 1979, Т. 48, № 4. – С. 490-494.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ КОМПАНИИ LIFE FORCE В ТЕХНОЛОГИИ ЗЕЛЕННОГО ЧЕРЕНКОВАНИЯ

А.Н. Викулина, к.с.-х.н.

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, e-mail: avikulina@rgau-msha.ru

Рассмотрено применение препаратов компании Life Force в технологии зеленого черенкования. Показано, что при укоренении зеленых черенков подвоя вишни ВП-1 и айвы обыкновенной в условиях искусственного тумана эффективно добавлять в субстрат почвенный кондиционер Natural Humic Acids в концентрации 30 г/10 л субстрата с предварительной обработкой базальной части черенка водным раствором индолилмасляной кислоты (ИМК) в концентрации 50 мг/л. Почвенный кондиционер Humate Balance при укоренении подвоя ВП-1 также показал свою эффективность в концентрации 6 г/10 л субстрата с предварительной обработкой черенков водным раствором ИМК (50 мг/л).

Ключевые слова: зеленые черенки, укоренение, субстрат, индолилмасляная кислота, почвенный кондиционер.

APPLICATION OF SOIL CONDITIONERS OF LIFE FORCE COMPANY IN THE TECHNOLOGY OF GREEN PROPAGATION OF CHERRIES AND APPLE QUINCE

Ph.D. A.N. Vikulina

Russian Timiryazev State Agrarian University, e-mail: avikulina@rgau-msha.ru

The application of Life Force products in the technology of green propagation are presented. The article shows that when rooting green cuttings of the cherry rootstock VP-1 and apple quince in an artificial fog, it is effectively to add a Natural Humic Acids soil conditioner to the substrate at a concentration of 30 g/10 l of substrate with preliminary treatment of the basal part of the cuttings with an aqueous solution of IBA at a concentration of 50 mg/l. Soil conditioner Humate Balance when rooting the rootstock VP-1 also showed its effectiveness in a concentration of 6 g/10 l of substrate with preliminary treatment of cuttings with an aqueous solution of IBA (50 mg/l).

Keywords: green cuttings, rooting, substrate, indolyl-butyric acid, soil conditioner.

В технологии зеленого черенкования препараты на основе гуматов находят широкое применение благодаря высокой адсорбционной активности [1], а фульвокислоты, входящие в их состав, ускоряют поглощение растением микроэлементов в виде хелатных комплексов [2]. Сырьем для производства гуматов служит: торф, сапропель, каменный уголь, лигнин, туфы, леонардит, различные виды почв [3, 4]. Высокая емкость катионного и анионного обменов гуматов стимулируют защитные функции, рост и развитие растений [1, 5]. Действие гуматов называют регуляторным, при их применении повышается проницаемость клеточных мембран, увеличивается активность дыхания и синтеза белков и углеводов, активизируются обменные процессы, улучшается поступление в растения минеральных веществ, повышается содержание в листьях хлорофилла, активизируется почвенная микрофлора, повышаются водно-физические свойства почвы и ее тепловой режим [6-9], а клетки растений становятся более устойчивы к воздействию неблагоприятных факторов [5, 10]. Действие гуматов во многом сходно с действием регуляторов роста так как по-

ложительный эффект проявляется в очень малых концентрациях [2, 11], а совместное применение гумата калия с гетероауксином повышало выход укорененных черенков красной смородины [12].

Цель исследования: оценить эффективность укоренения зеленого черенкования вишни и айвы в субстратах с добавлением почвенных кондиционеров компании Life Force.

Объекты и методы исследования. Опыты проводили в секторе зеленого черенкования Лаборатории плодоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2017 г. Объектами исследования служили зеленые черенки айвы обыкновенной и подвоя вишни ВП-1. При укоренении зеленых черенков использовали субстраты на основе обогащенного торфа «Пельгорское-М» и перлита (3:1) с добавлением почвенных кондиционеров Natural Humic Acids for lawn and garden soil (20, 30 и 40 г/10 л субстрата) и Humate Balance for lawn and garden soil revival (6, 8 и 10 г/10 л субстрата), в качестве контроля использовали субстрат без препаратов. Дополнительным фактором эксперимента была предпосадочная обработка черенков в различных кон-

центрациях (10, 30, 50 мг/л) водного раствора индолмасляной кислоты (ИМК). Экспозиция в растворе составила 16 часов, в качестве контроля использовали воду. Черенки на укоренение высаживали в пластиковые ящики объемом 20 л. Влажность воздуха в теплице поддерживали в пределах 95-98% с помощью установки искусственного тумана. Повторность опыта трехкратная, по 30 черенков в каждой повторности. Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову с использованием пакета анализа Microsoft Office Excel 2007 и методических материалов [13, 14].

Результаты исследований. При укоренении подвоя вишни ВП-1 отмечено преимущество растений, предварительно обработанных ИМК. Следует отметить, что приживаемость подвоя вишни ВП-1 с включением в состав субстрата почвенного кондиционера Natural Humic Acids была несколько выше, чем при добавлении препарата Humate Balance, где отмечена нулевая приживаемость при использовании субстрата с концентрацией данного препарата 10 г/10 л и обработкой черенков раствором ИМК (10 мг/л). Приживаемость черенков, близкая к 100%, отмечена при укоренении на субстрате с концентрацией препарата Natural Humic Acids 30 г/10 л с дополнительной обработкой ИМК (10 мг/л), а также в варианте с концентрацией Natural Humic Acids 40 г/10 л совместно с обработкой ИМК (30 и 50 мг/л). Что касается добавления в субстрат препарата Humate Balance, то лучшая укореняемость отмечена при использовании ИМК (50 мг/л) совместно с концентрацией препарата 6 и 8 г/10 л субстрата.

Наиболее важным показателем при оценке эффективности укоренения зеленых черенков служит количество корней первого порядка. Из полученных данных, следует отметить варианты с обогащением субстрата препаратом Natural Humic Acids

в концентрациях: 30 г/10 л совместно с обработкой черенков ИМК (50 мг/л); и 40 г/10 л совместно с ИМК в концентрациях 30 и 50 мг/л. Также заслуживает внимание вариант с применением препарата Humate Balance (6 г/10 л) совместно с ИМК (30 и 50 мг/л). Длина корней первого порядка была выше при применении препарата Natural Humic Acids. Данный показатель зависел также от концентрации водного раствора ИМК для предварительной обработки черенков. Так, при укоренении на субстрате с различными концентрациями препарата Natural Humic Acids совместно с обработкой черенков ИМК (30 и 50 мг/л) длина корней находилась в пределах 9-11 см против 7-9 см в контроле с применением аналогичных концентраций ИМК.

Одной из особенностей косточковых культур является высокая скороспелость почек, поэтому мы рассчитали процент укорененных черенков с пробудившимися почками. Во всех вариантах количество черенков с пробудившимися почками был наивысшим при применении ИМК (50 мг/л). Однако по средней суммарной величине боковых побегов лучшими оказались варианты с почвенным кондиционером Humate Balance в концентрациях 6 и 10 г/10 л субстрата и Natural Humic Acids (30 г/10 л субстрата) на фоне предварительной обработки черенков ИМК в концентрации 50 мг/л. Статистическая обработка данных при применении различных концентраций препарата Natural Humic Acids выявила его эффективность на длину корней первого порядка укорененных черенков подвоя ВП-1 (рис. 1). В то время как на количество корней и среднюю суммарную длину прироста в первую очередь оказала влияние концентрация ИМК, а во вторую – взаимодействие факторов концентрации ИМК для обработки черенков перед посадкой (а) и концентрации почвенного кондиционера Natural Humic Acids в составе субстрата.

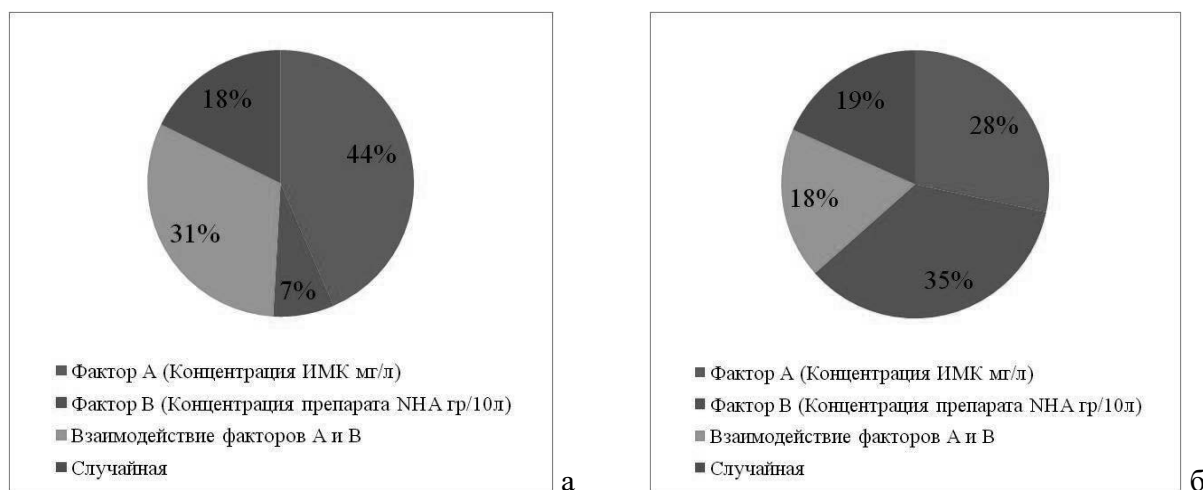


Рис. 1. Доля влияния факторов на количество (а) и длину (б) корней первого порядка черенков подвоя вишни ВП-1 при укоренении в субстрате с различным содержанием почвенного кондиционера Natural Humic Acids в условиях искусственного тумана

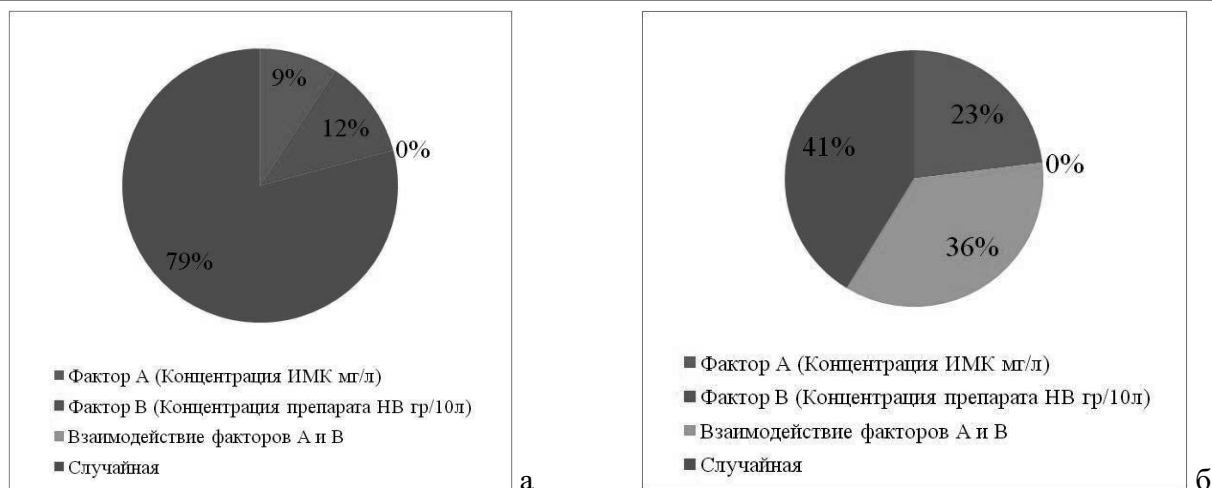


Рис. 4. Доля влияния факторов на количество (а) и длину (б) корней первого порядка черенков айвы обыкновенной при укоренении в субстрате с различным содержанием почвенного кондиционера Humate Balance в условиях искусственного тумана

50 мг/л. Количество укоренившихся черенков с просроченными акселерными почками в данных вариантах составил 78 и 83%, а средняя суммарная длина побега – 3,5 и 3,1 см соответственно.

Статистическая обработка данных применения почвенных кондиционеров Natural Humic Acids и Humate Balance при укоренении айвы обыкновенной выявила влияние только взаимодействия факторов концентрации ИМК и применяемых препаратов на длину и количество корней первого порядка (рис. 3 и 4).

Выводы. 1. При зеленом черенковании подвоя вишни ВП-1 эффективно применять препарат Natural Humic Acids в концентрации 30 г/10 л и препарат Humate Balance (6 г/10 л) совместно с предварительной обработкой черенков водным раствором ИМК (50 мг/л). Также заслуживает внимания концентрация препарата Natural Humic Acids 40 г/10 л совместно с ИМК (30 мг/л). 2. При зеленом черенковании айвы обыкновенной отмечен вариант с насыщением субстрата препаратом Natural Humic Acids в концентрации 30 г/10 л с предварительной обработкой черенков водным раствором ИМК (50 мг/л).

Литература

1. Рейзвих С.В., Верещагин А.Л. Исследование влияния хитозана, гуминовых и фульвиновых кислот на адаптационные возможности гречихи к воздействию нитрата кадмия / Производные хитозана и стимуляторы роста в сельском хозяйстве. Материалы IV межрегиональной научно-практической конференции 21 марта 2006 года – Бийск: Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, 2006. – С. 19-22.

2. Комаров А.А. Некоторые рассуждения о действии гуминовых препаратов на растения // Агрохимический вестник, 2009, № 6. – С. 28-29.

3. Барановский И.Н. Теоретическое обоснование использования гуминовых удобрений в земледелии Нечерноземной зоны России. – Тверь: ВНИИ племенного дела, 2013. – С. 227-229.

4. Брыкалов А.В., Гладков О.А., Романенко Е.С., Иванова Р.Г. Лигногумат: миф и реальность. – Ставрополь: Орфей, 2005. – 108 с.

5. Хардикова С.В., Мусалимова Г.Р., Тихонова М.А., Верхошанцева Ю.П. Влияние гумата калия на водный режим и засухоустойчивость разных сортов винограда в условиях степного Предуралья / Состояние, перспективы садоводства и виноградарства Урало-Волжского региона и сопредельных территорий: сб. науч. трудов, посвящ. 50-летию образования Оренбургской опытной станции садоводства и виноградарства, 2 нояб. 2013 г. – Оренбург: ООО «Печатный дворик», 2013. – С. 274-280.

6. Власенко Н.Г., Егорычева М.Т., Шоба В.Н. Применение гумата калия при возделывании яровой пшеницы / Рекомендации Российской академии сельскохозяйственных наук. Сибирское отделение. – Новосибирск: Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства, 2007. – 18 с.

7. Ракош Л., Штранц П. Опыт с применения Лигногумата и продуктов на его основе в сельском хозяйстве Чешской республики / Гуминовые кислоты и фитогормоны в растениеводстве. Наука – продукты – практика. Сборник материалов III междуна. научн-практ. конф. Radostim. В рамках выставки АГРО 2007. 12-16 июня 2007 г. – Киев, 2007. – С. 114-121.

8. Соколов Д.А., Быкова С.Л., Нечаева Т.В., Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р. Оценка эффективности применения гуматов Na и K в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных культур в условиях техногенных ландшафтов // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета, 2012, № 3(24). – С. 25-30.

9. Шрамко Г.А., Князева Т.В., Александрова Э.А., Черных Я.С. Влияние католита на росторегулирующую способность гумата калия при некорневой обработке озимой пшеницы // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2012, Вып. 5(38). – С. 115-119.

10. Богословский В.Н., Левинский Б.В., Сычев В.Г. Агротехнологии будущего. Книга I. Энергены. – М.: Издательство РИФ «Антиква», 2004. – 164 с.

11. Мельник И.А., Ковалев В.Б., Костюк В.А. Гумат натрия как стимулятор роста // Химия в сельском хозяйстве, 1989, № 9. – С. 73-75.

12. Мякишева, С.Н. Влияние биоактивных веществ и удобрений на размножение красной смородины зелеными черенками / Сельское хозяйство Сибири на рубеже веков: итоги и перспективы развития. – Новосибирск, 2001. – С. 73-74.

13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: в Колос, 1985. – 423 с.

14. Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве: Рабочая тетрадь. 3-е изд., исправл. и доп. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 94 с.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА СВЕТОВЫЕ РЕАКЦИИ ФОТОСИНТЕЗА ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

¹Д.Т. Габбасова, аспирант, ¹Д.Н. Маторин, д.б.н., ¹Л.Б. Братковская, к.б.н., ²А.А. Алексеев, к.б.н.

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, e-mail: dilara.gt@yandex.ru

²Северо-восточный федеральный университет, e-mail: aa.alekseev@s-vfu.ru

*Проведена оценка влияния гуминовых веществ на световые реакции фотосинтеза микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* с использованием параметров флуоресценции. Установлено, что гуминовые вещества обладают стимулирующим воздействием на рост микроводорослей только в стрессовых ситуациях. Анализ индукционных кривых флуоресценции показал, что гуминовые вещества оказывают некоторое положительное влияние на первичные процессы фотосинтеза. Измерение изменений эффективности процессов фотосинтеза по параметрам индукции флуоресценции является чувствительным методом, который может быть предложен для оценки разрабатываемых для сельского хозяйства гуминсодержащих препаратов.*

Ключевые слова: гуминовые вещества, бихромат калия, фотосинтез, флуоресценция хлорофилла, микроводоросли, биотестирование, JIP-тест.

IMPACT OF HUMIC SUBSTANCES ON THE LIGHT REACTIONS OF PHOTOSYNTHESIS IN GREEN MICROALGA SCENEDESMUS QUADRICAUDA

¹Ph.D. student D.T. Gabbasova, ¹Dr.Sci. D.N. Matorin, ¹Ph.D. L.B. Bratkovsky, ²Ph.D. A.A. Alekseev

¹Moscow State Lomonosov University, e-mail: dilara.gt@yandex.ru

²North-Eastern Federal University, e-mail: aa.alekseev@s-vfu.ru

*Assessment of the influence of humic substances on the light reactions of photosynthesis in microalgae *Scenedesmus quadricauda* using the parameters of fluorescence conducted for the first time. It is found that humic substances have a stimulating impact on the growth in microalgae only in stressful situations. Analysis of the induction curves of fluorescence showed that humic substances have some positive influence on primary processes of photosynthesis. Measurement of changes in the efficiency of photosynthetic processes by the parameters of fluorescence induction is a sensitive method that can be proposed to evaluate humic preparations developing for agriculture.*

Keywords: humic substances, potassium dichromate, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, microalgae, biotesting, JIP-test.

Гуминовые вещества (ГВ) почв выполняют ряд экологических функций, как в естественных, так и в антропогенных экосистемах [1-4]. Они могут образовывать комплексы с токсикантами, изолировать антропогенные органические соединения, окислять и редуцировать различные токсические формы, замедлять поглощение токсичных соединений и микроэлементов [5]. ГВ могут стимулировать рост растений вследствие усиления проницаемости клеточной мембраны, стимулирования дыхания, фотосинтеза, поглощения кислорода и фосфора [6-10].

Одним из общепринятых индикаторов состояния растительного компонента служит оценка изменений эффективности процессов фотосинтеза в ответ на воздействие окружающей среды. В настоящее время активно развиваются флуоресцентные методы, которые позволяют работать нативным способом, т.к. они наиболее быстрые, удобные и информативные среди многих экспериментальных методов используемых для экологического мони-

торинга [11-14]. Нарушения в первичных процессах фотосинтеза непосредственно отражаются в изменении флуоресценции хлорофилла *a*. Флуоресцентные методы позволяют получить кинетики световой индукции флуоресценции с высоким разрешением и дают подробную информацию о состоянии электрон-транспортной цепи фотосинтеза.

Цель работы – оценка влияния ГВ на световые реакции фотосинтеза зеленых микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* при нормальной и стрессовой ситуации с использованием современных флуоресцентных методов.

Объекты и методы исследования. Для измерения параметров индукции быстрой флуоресценции микроводорослей был использован портативный флуориметр Aqua-Pen-C 100 (Photon Systems Instruments, Чехия). Для количественного анализа характеристик процессов фотосинтеза на основе параметров кинетической кривой индукции флуоресценции был использован так называемый JIP-

тест [13]. JIP-тест использует следующие параметры кривой индукции флуоресценции: интенсивность при 50 мкс (F_0), 2 мс (F_J), 30 мс (F_I), 6 с (F_{6s}), а также F_P (F_M , максимальная интенсивность флуоресценции) и M_0 (площадь над кинетической кривой OJIP, но ниже уровня F_M).

Эти измеряемые величины использовали для расчета следующих параметров: $F_V = F_M - F_0$ – максимальная переменная флуоресценция; F_V/F_M – максимальный квантовый выход первичной фотохимической реакции в открытых реакционных центрах фотосистемы II (ФС II): $F_V/F_M = \phi_{P_0}$; $V_J = (F_J - F_0)/F_V$ – относительная амплитуда O-J фазы, отражает количество закрытых реакционных центров (РЦ) по отношению к общему числу РЦ, которые могут быть закрыты; $V_I = (F_I - F_J)/F_V$ – относительная амплитуда J-I фазы, связанная с промежуточным стационарным уровнем восстановления пула пластохинонов; ϕ_{E_0} – квантовый выход электронного транспорта (при $t = 0$): $\phi_{E_0} = [1 - (F_0/F_M)] \cdot (1 - V_J)$, где $V_J = (F_J - F_0)/F_V$; $DI_0/RC = (ABS/RC) - M_0/(1/V_J)$ – общее количество энергии, рассеиваемой одним РЦ в виде тепла, флуоресценции или переноса к другой фотосистеме, при $t = 0$; ABS/RC – поток энергии, поглощаемый одним активным РЦ, характеризует относительный размер антенны (ABS): $ABS/RC = M_0/V_J(1/\phi_{P_0}) = (M_0/V_J)/[(F_M - F_0)/F_M]$; PI_{ABS} – индекс производительности, показатель функциональной активности ФС II, отнесенный к поглощаемой энергии: $PI_{ABS} = [1 - (F_0/F_M)] / (M_0/V_J) \cdot [(F_M - F_0)/F_0] \cdot [(1 - V_J)/V_J]$.

Измерения световых зависимостей флуоресценции проводили на импульсном флуориметре Water-PAM (Walz, Германия). У микроводорослей, адаптированных к темноте, регистрировали максимальный квантовый выход ФС II (F_V/F_M). Проводили измерения быстрых световых зависимостей различных параметров флуоресценции на свету при последовательном увеличении интенсивности от 0 до 800 мкЕ/м²·с [13, 14]. В конце каждого сеанса освещения при определенной интенсивности с ис-

пользованием насыщающей вспышки (0,8 с, 3000 мкЕ/м²·с), регистрировали параметры F_M' , а также выход флуоресценции на свету F_t . На основании всех параметров рассчитывали относительную скорость нециклического электронного транспорта $ETR = Y \cdot E_i \cdot 0,5$, где $Y = (F_M' - F_t) / F_M'$ – квантовый выход фотохимического превращения поглощенной световой энергии в ФС II, E_i – освещенность (мкЕ/м²·с); нефотохимическое тушение $NPQ = (F_M/F_M') - 1$. Измерения проводили в пятикратной повторности. Перед измерением все образцы выдерживали в темноте в течение 30 минут.

Образцы гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК) черноземных почв были любезно предоставлены координатором российского отделения Международного Гуминового сообщества (IHSS, США), проф. И.В. Перминовой.

Культуры одноклеточных пресноводных микроводорослей *S. quadricauda*, которые являются сертифицированным тест-объектом для биотестирования, были выращены на среде Успенского-1. Микроводоросли культивировали при температуре 24±2°С при периодическом освещении (12 часов свет 30 мкЕ/м²·с: 12 часов темнота). Инкубацию микроводорослей с ГВ и бихроматом калия проводили в тех же условиях, что и при их выращивании.

Результаты. Было исследовано влияние ГВ на скорость роста микроводорослей *S. quadricauda*, которую оценивали по параметру флуоресценции (F_0). Параметр F_0 связан с обилием клеток микроводорослей [13, 14]. Обнаружено, что ГВ черноземных почв в нормальных условиях не обладали выраженным стимулирующим воздействием на рост микроводорослей *S. quadricauda* (рис. 1А). При внесении эталонного токсиканта бихромата калия наблюдалось ингибирование скорости роста микроводорослей (рис. 1Б). При добавлении ГВ было обнаружено, что они обладают выраженным защитным действием. Можно предположить, что ГВ действуют на рост только в стрессовых ситуациях.

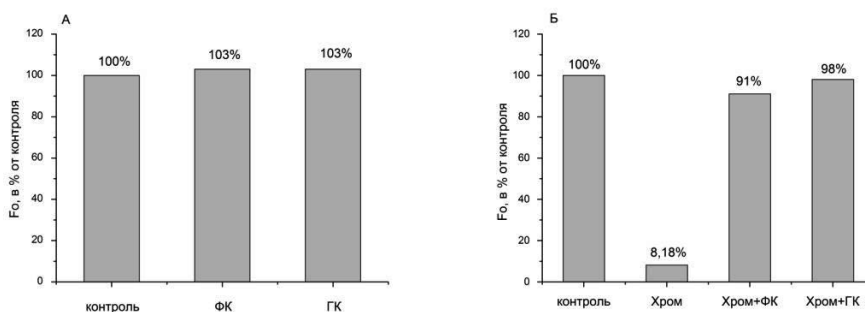


Рис. 1. Изменение количества клеток микроводорослей *S. quadricauda* по параметру F_0 в присутствии ГК, ФК черноземных почв (10 мг/л) и бихромата калия (2,5 мг/л) через 72 часа инкубации. А – значение F_0 в присутствии ГК и ФК черноземных почв, Б – значение F_0 в присутствии бихромата калия, в сочетании бихромата калия с ГК и ФК черноземных почв

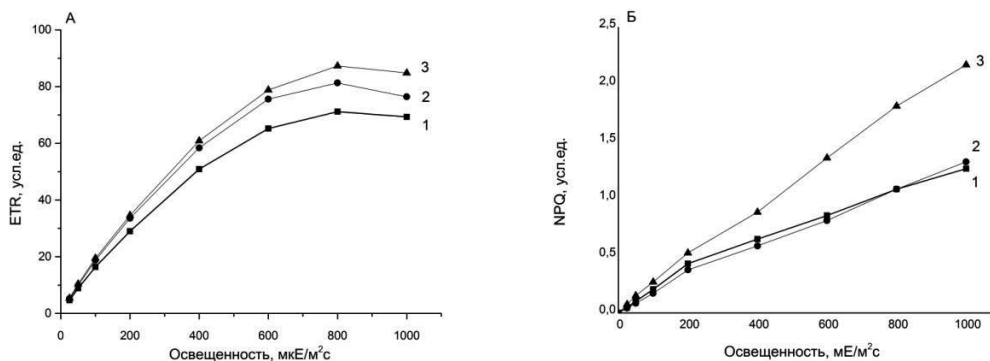


Рис. 2. Изменения световых кривых параметров флуоресценции микроводорослей *S. quadricauda* при влиянии ГК и ФК черноземных почв в концентрации 10 мг/л через 24 часа инкубации. А – относительная скорость нециклического электронного транспорта (ETR), Б – нефотохимическое тушение флуоресценции (NPQ). 1 – контроль, 2 – ФК черноземных почв, 3 – ГК черноземных почв

Параметры флуоресценции хлорофилла микроводорослей *S. quadricauda* при воздействии ГВ черноземных почв в концентрации 10 мг/л через 24 часа инкубации, % от контроля

Параметр	ФК черноземных почв, %	ГК черноземных почв, %
F ₀	103	103
F _v /F _M	103	113
V _J	100	86
V _I	100	96
φ _{E0}	103	126
PI _{ABS}	112	215
ABS/RC	96	80
DI ₀ /RC	93	68

Изменения в функционировании фотосинтетического аппарата при действии ГВ исследовали с помощью световых зависимостей параметров флуоресценции (рис. 2). При измерении относительной скорости нециклического электронного транспорта (ETR) обнаружили, что ГВ ведут к увеличению его скорости. При этом ГК черноземных почв в большей степени стимулировали электронный транспорт по сравнению с ФК. Также установлено, что ГК влияют на состояние фотосинтетических мембран, что привело к увеличению нефотохимического тушения флуоресценции (NPQ), отражающего изменение электрохимического протонного градиента на мембране. При этом ФК практически не оказывали воздействие на состояние фотосинтетических мембран.

Детальное исследование воздействия ГВ на световые реакции фотосинтеза были проведены при регистрации индукционных кривых флуоресценции в миллисекундном интервале времени. Индукционные кривые представляют собой увеличение интенсивности флуоресценции после включения действующего света, отражающее постепенное восста-

новление переносчиков электронов между двумя фотосистемами. Измерение флуоресценции на разных фазах кривой позволяет судить о протекании различных стадий фотосинтеза. В таблице приведены параметры, рассчитанные из индукционных кривых флуоресценции хлорофилла клеток микроводорослей *S. quadricauda* в присутствии ГВ [13-15].

Исследование параметров индукционных кривых флуоресценции подтверждают тот факт, что ГВ могут оказывать влияние на функционирование фотосинтетического аппарата микроводорослей *S. quadricauda*. ГВ оказывали стимулирующее воздействие на фотосинтез микроводорослей. Это отражено в изменении параметра F_v/F_M – максимального квантового выхода ФС II, связанной с разложением воды и выделением кислорода. Значение данного параметра в присутствии ГК увеличивалось до 13%. При этом ФК не оказали выраженного стимулирующего воздействия (таблица).

При действии ГВ снизилась доля активных реакционных центров ФС II с низкой скоростью восстановления вторичного акцептора Q_B (участок, связывающий пластохинон). Это отражено в уменьшении коэффициента V_J (фаза от F₀ до F_J). При изучении параметра V_I, являющегося индикатором состояния редокс-состояния пула пластохинона в темноте, обнаружили, что ГВ не влияли на наличие окисленных молекул пластохинона сайта Q_B.

Параметр индекса производительности (PI_{ABS}) в присутствии ГК увеличился вдвое, что говорит о степени увеличения функциональной активности ФС II в 2 раза. Это происходит из-за повышения доли активных РЦ и снижения тушения возбужденных состояний в антенне. Повышение доли активных РЦ приводит к уменьшению размера антенны (ABS/RC). Увеличение активных РЦ и квантовой эффективности переноса электронов от QA – (φE₀) приводит к снижению диссипации энергии в виде тепла (DI₀/RC).

В последнее время препараты на основе ГВ используют в сельском хозяйстве для улучшения состояния растений [16-18]. Наше исследование показало, что они могут положительно воздействовать на состояние фотосинтетических процессов модельного тест-объекта микроводорослей *S. Quadricauda* [19]. Добавление ГВ приводило к увеличению скорости нециклического электронного транспорта (ETR), индекса производительности фотосинтеза (PI_{ABS}), максимального квантового выхода первичной фотохимической реакции (F_v/F_m). Было

установлено, что ГК воздействуют на состояние фотосинтетических мембран клеток (увеличение NPQ). В нормальных условиях ГВ мало влияли на рост микроводорослей (F_0), но при экстремальных условиях физиологическая активность ГВ повышалась.

Таким образом, измерение изменений эффективности процессов фотосинтеза по параметрам индукции флуоресценции является чувствительным методом, который может быть предложен для оценки разрабатываемых для сельского хозяйства гуминсодержащих препаратов.

Литература

1. Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism // *Scientia Agricola*, 2016, V. 73, № 1. – P. 18-23.
2. Полиенко Е.А. Экологическая оценка влияния гуминовых препаратов на состояние почв и растений: автореф. дисс. к.б.н. – Ростов-на-Дону, 2016. – 24 с.
3. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
4. Горюва А.И., Орлов Д.С., Шелбенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. – Киев: Наукова думка, 1995. – 303 с.
5. Pandey A.K., Pandey S.D., Misra V., Devi S. Role of humic acid entrapped calcium alginate beads in removal of heavy metals // *Journal of hazardous materials*, 2003, V. 98, № 1. – P. 177-181.
6. Russo R.O., Berlyn G.P. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture // *Journal of Sustainable Agriculture*, 1991, V. 1, № 2. – P. 19-42.
7. Gulser F., Sonmez F., Boysan S. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition, 2010, V. 31, № 5. – P. 873-876.
8. Pizzeghello D., Francioso O., Ertani A., Muscolo A., Nardi S. Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances // *Journal of Geochemical Exploration*, 2013, V. 129. – P. 70-75.
9. Gholami H., Samavat S., Ardebili Z.O. The alleviating effects of humic substances on photosynthesis and yield of *Plantago ovate* in salinity conditions // *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 2013, V. 4, № 7. – P. 1683-1686.
10. Olaetxea M., Mora V., Garcia A.C., Santos L.A., Baigorri R., Fuentes M., Garcia-Mina, J.M. Root-Shoot Signaling crosstalk involved in the shoot growth promoting action of rhizospheric humic acids // *Plant signaling and behavior*, 2016, V. 11, № 4. – P. e1161878.
11. Lazar D., Schansker G. Models of chlorophyll a fluorescence transients // *Photosynthesis in silico*. Springer Netherlands, 2009. – P. 85-123.
12. Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Qiang S., Goltsev V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis* // *Biochim. Biophys. Acta.*, 2010, V. 1797. – P. 1313-1326.
13. Маторин Д.Н., Рубин А.Б. Флуоресценции хлорофилла высших растений и водорослей. – М.-Ижевск: ИКИ-РХД, 2012. – 256 с.
14. Гольцев В.Н., Каладжи М.Х., Кузманова М.А., Аллахвердиев С.И. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла А – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 220 с.
15. Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient // *Chlorophyll a Fluorescence*, 2004. – P. 321-362.
16. Христева Л.А. Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления / Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Харьков, 1957, т. 1. – С. 75-94.
17. Комаров А.А. Некоторые рассуждения о действии гуминовых препаратов на растения // *Агрохимический вестник*, 2009, № 6. – С. 28-29.
18. Овчаренко М.М. Гуматы – активаторы продуктивности сельскохозяйственных культур // *Агрохимический вестник*, 2001, № 2. – С. 13-14.
19. Габбасова Д.Т., Маторин Д.Н., Конюхов И.В., Сейфуллина Н.Х., Заядан Б.К. Оценка воздействия ионов хрома на морские микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum* // *Микробиология*, 2017, Т. 86, № 1. – С. 62-71.

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И КУРИНОГО ПОМЕТА НА СИСТЕМУ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

И.И. Дмитриевская, к.б.н., Н.Л. Поветкина, к.б.н., М.Д. Алифиров, Н.С. Кузина, Д.А. Николаева
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, e-mail: savich.mail@gmail.com

В работе показано биологическое действие щелочных экстрактов из растительных отходов и куриного помета на систему почва – растение. На дерново-подзолистой почве обработка проростков кресс-салата щелочным экстрактом из помета с опилками + Si увеличила размер корней с $4,4 \pm 0,8$ до $5,3 \pm 0,3$, а на черноземе – с $2,7 \pm 0,2$ до $5,2 \pm 0,4$. При этом pH в дерново-подзолистой почве изменяется с 7,0 до 5,6, Eh – с 326 до 424 мВ, CO_2 – с 1445 до 1560 ppm, NO_3 – с 12 до 14 мг/кг. В черноземе изменения были менее значимы. В экспериментах биологическая активность щелочных экстрактов из отходов сельскохозяйственного производства отличалась в зависимости от качества воды, в которой их разводили. Интегральная оценка биологической активности исследуемых препаратов показала влияние щелочных экстрактов на свойства почв и их инфракрасные спектры.

Ключевые слова: щелочные экстракты, растительные, растения, дерново-подзолистая почва, чернозем обыкновенный.

THE INFLUENCE OF ALKALINE EXTRACTS OF WEEDS AND ORGANIC FERTILIZERS ON THE SYSTEM SOIL-PLANT

Ph.D. I.I. Dmitrevskaya, Ph.D. N.L. Povetkina, M.D. Alefirov, N.S. Kuzina, D.A. Nikolaeva
Russian Timiryazev State Agrarian University, e-mail: savich.mail@gmail.com

The work shows the biological effects of alkaline extracts from waste of agricultural production influence on the biotests on the development of potatoes and peppers during the growing season. The change in their application of the properties of soils has been established: pH, Hh, MO, COx, indices of infrared spectra. On soddy-podzolic soil treatment seedlings of cress alkaline extract from manure with sawdust + Si increased the size of the roots of 4.41 ± 0.8 to 5.31 ± 0.3 , and black earth - with a 2.71 ± 0.2 to 5.21 ± 0.4 . When the pH in soddy-podzolic soil varies from 7.0 to 5.6, Eh – from 326 to 424 mV, CO_2 – from 1445 till 1560 ppm, NO_3 – from 12 to 14 mg/kg. In the experiment, the biological activity of alkaline extracts from agricultural wastes differed depending on the quality of the waters in which they were bred. An integral evaluation of the biological activity of the drugs is proposed.

Keywords: alkaline extracts from agricultural wastes, plants, soil properties.

Влиянию гуматов на развитие растений посвящено значительное количество исследований [1-9]. В ряде работ показано влияние на развитие растений щелочных экстрактов, приготовленных из отходов сельскохозяйственного производства: помета, костры льна, сорных трав. Однако исследуемые препараты, попадающие в почву при обработке семян и растений, изменяют микробиологическую активность почв, а, следовательно, и взаимосвязи в системе почва-растение. Однако этот вопрос практически не исследован, что и послужило основанием для проведения исследований.

Стимулирующее влияние на растения и микроорганизмы почв оказывают также водорастворимые и щелочно-растворимые продукты из отходов сельскохозяйственного производства, содержащие карбоксильные, спиртовые, хинонные функциональные группы [8, 9].

Цель исследования – оценка влияния щелоч-

ных экстрактов из очисток картофеля, сорных трав, куриного помета с опилками, обогащенного Se, Si, Cu, Ni, Zn на систему почва – растение.

Объекты и методы исследования. Для изучения выбрана дерново-подзолистая почва (разрез 2) Мичуринского сада МСХА среднесуглинистого гранулометрического состава [10] и обыкновенный чернозем (разрез 3) мощный тяжелосуглинистый малогумусовый Краснодарского края [9]. Исследованы пахотные горизонты. Щелочные экстракты (гуматы) pripravивали из очисток картофеля, помета кур, кролика, листьев трав, шунгита при их десорбции 500 мл 2н КОН в течение суток из 100 г исходного сырья. В отдельных вариантах «гумат» из куриного помета с опилками обогащали Se и Si (0,5 г на 100 мл раствора).

В модельных опытах оценивали влияние щелочных экстрактов на систему почва-растение в разведении 10^{-5} - 10^{-8} на развитие биотестов проростков

кресс-салата и горчицы белой при времени развития проростков 1 и 2 недели; также изучали влияние исследуемых препаратов, попадающих в почву, при обработке ими растений, на изменение свойств почвы: рН; Eh; рСО₂; содержание NO₃; инфракрасные спектры почв.

В микрополевом опыте изучаемыми растворами обрабатывали проростки картофеля, клена, перца. Через 2, 4, 6, 8 недель измеряли размер надземной части растений, а в конце опыта в августе – количество образовавшихся клубней картофеля, плодов перца. Опыт проводили на смеси, приготовленной на основе чернозема.

Результаты По данным модельных опытов исследуемые препараты положительно влияли на развитие проростков биотеста – кресс-салата, увеличивая количество проросших семян и в большей степени развитие корней, по сравнению с надземной частью растений. Увеличение степени разбавления растворов от 10⁻⁵ до 10⁻⁷ уменьшило их биологическую активность, а при увеличении времени развития проростков с 1 до 2 недель разница по сравнению с контролем возрастала (табл. 1).

Влияние препаратов на растения отличалось при действии их на разные почвы. В зависимости от состава препарата 7 значительно увеличился размер корней по сравнению с контролем (табл. 2).

1. Влияние щелочных экстрактов на развитие кресс-салата

Параметр	Контроль	«Гумат» – 10 ⁻⁵	«Гумат» – 10 ⁻⁷
Корень 1	6,8±2,0	7,8±1,6	7,4±1,6
Корень 2	7,5±1,7	11,4±0,2	8,7±0,5
Стебель 1	6,2±1,5	6,7±0,4	6,7±0,5
Стебель 2	6,6±1,9	7,5±0,2	5,9±0,4
Проросло семян из 13	4	11	7
Примечание. 1 – первый срок, 2 – второй срок.			

2. Влияние щелочных экстрактов на развитие кресс-салата на дерново-подзолистой почве и черноземе

Почва	Размер корней, в см			
	контроль	препарат 7	препарат 2	препарат 5
Дерново-подзолистая	4,4±0,8	5,3±0,3	3,9±0,9	1,4±0,1
Чернозем Р-1	4,0±0,4	5,0±0,2	2,7±0,3	4,9±0,5
Чернозем Р-3	2,7±0,2	5,2±0,4	3,2±0,4	5,7±0,7
Примечание. Препарат 2 – из очисток картофеля; препарат 5 – из помета кур с опилками + Se; препарат 7 – из помета кур с опилками + Si.				

Интегральная оценка биологической активности исследуемых препаратов представлена в таблице 3.

Пример расчета биологической активности препарата № 1 из очисток картофеля:

$$X = (0,92 + 0,98 + 1,0 + 1,0 + 1,0) / 5 = 0,98$$

Щелочные экстракты из очисток картофеля (препарат № 1) и препарат № 2 – (куриный помет + Se) обладают большей биологической активностью, по сравнению с препаратами № 3 (помет кур + Ni) и № 4 (куриный помет с опилками + Si, Zn, Cu, Ni, Se). Они более активно действуют с увеличением продолжительности взаимодействия, меньше изменяют активность с разбавлением, их активность меньше варьирует по действию на семена.

В полевых условиях в течение 3 месяцев изучали влияние щелочных экстрактов из шунгита, растительных остатков трав на проростки картофеля и перца (табл. 4).

Обработка щелочными экстрактами растений картофеля и перца привела к улучшению их развития и к повышению урожая (полив растений проводили по мере подсыхания почвы).

3. Интегральная оценка биологической активности препаратов по развитию растений кресс-салата

Препарат	t = 10 дн.	t = 10 дн.	t = 10 дн.	t = 4 дн.	t = 10 дн.	X*
	корни	стебли	t = 4 дн.	корни	10 ⁻⁶ /10 ⁻⁸ корни	
1	5,8	4,2	5,8	1,1	0,9	0,98
2	6,3	4,3	4,2	1,1	1,3	0,88
3	2,8	2,4	2,3	1,7	1,6	0,52
4	3,2	2,6	1,5	1,2	0,8	0,68
Примечание. 1 – из очисток картофеля; 2 – помет кур 50 г + КОН-2н + Se (0,5 г на 100 мл раствора); время – 1 сутки; 3 помет кур + Ni; 4 – помет с опилками + Si, Zn, Cu, Ni, Se.						

4. Размер надземной части и урожай перца и картофеля после применения щелочных экстрактов

Вариант	Растения	Размер, см		Урожай, шт.	
		10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁰
Контроль	Картофель	7,0	6,0	8	8
	Перец	8,0	10,2	5	6
Экстракт из шунгита	Картофель	65,0	69,4	5	7
	Перец	73,2	76,0	6	8
Экстракт из растительных остатков	Картофель	68,3	70,1	9	11
	Перец	84,0	88,0	8	15

5. Влияние щелочного экстракта из куриного помета с опилками +Si на свойства почв

Определяемые параметры	Дерново-подзолистая почва		Чернозем обыкновенный	
	контроль	экстракт*	контроль	экстракт*
рН _{Н2О}	7,0	5,6	7,9	7,7
Eh, мВ	326	424	301	331
NO ₃ , мг/кг	12	14	11	9
CO ₂ , ppm	1445	1560	1645	1400
Размер корней, см	4,4±0,2	5,3±0,3	2,7±0,4	5,2±0,4
* щелочной экстракт из куриного помета с опилками + Si				

6. Влияние свойств почв на соотношение длины корней и стеблей

Отношение корни/стебли	Eh, мВ	NO ₃ , мг/л	CO ₂ , ppm
Дерново-подзолистая почва			
2,6	424	14	1560
0,6	402	8	1415
Чернозем			
1,8	316	13	1290
0,6	305	12	1660

7. Влияние щелочных экстрактов из отходов на инфракрасные спектры почв

Длина волны, λ см ⁻¹	Т% при внесении препаратов		
	очистки картофеля	помет с опилками + Se	помет с опилками + Si
≈ 3400	15,7	13,4	15,3
≈ 1630	20,7	21,7	26,0
1400	21,2	26,6	22,0
1040	8,7	19,6	22,0

Полученные данные показывают, что биологическая активность препаратов зависит от количества воды, в которой они разведены до концентрации 10⁻⁶-10⁻¹⁰.

Щелочные экстракты, попадающие в почву при обработке растений, изменяли свойства почв (табл. 5).

Применение исследуемого экстракта привело к подкислению среды, повышению Eh, увеличению содержания CO₂ и NO₃, а также размера корней. Такая тенденция отмечалась и при применении других щелочных экстрактов. Отношение длины корней к длине стеблей коррелировало с Eh, NO₃ и CO₂ (табл. 6).

С учетом всех вариантов также отмечалась тенденция, когда при отношении длины корней к длине стеблей < 1, величина Eh была ниже 317,8±21,4, а при отношении > 1 – выше 330,0±14,3. Однако концентрация NO₃ в вариантах, где отношение корней к стеблям было < 1, возрас- тала 16,5 ± 3,5, по сравнению с величиной 10,9 ± 1,2 при отношении корни/стебли > 1.

Для оценки изменения почв при внесении в них щелочных экстрактов определены инфракрасные спектры образцов чернозема и дерново-подзолистой почвы при внесении в 5 г почв 3,5 мл препаратов, разбавленных в 10⁻⁶ степени, после времени взаимодействия 1 месяц (табл. 7).

В наиболее биологически активном препарате (помет с опилками + Si) величина Т% была больше в областях 1630 см⁻¹, 1400 и 1040 см⁻¹.

Инфракрасные спектры почв после внесения в них исследуемых препаратов показали наличие в почвах карбоксильных, хинонных, спиртовых, метаксильных групп, что соответствует литературным данным [1, 2, 5, 7].

Таким образом, проведенные исследования показали биологическую активность щелочных экстрактов из отходов сельскохозяйственного производства, ее изменение при обогащении препаратами Se и Si. Предложена интегральная оценка биологической активности исследуемых препаратов по их влиянию на биотесты – развитие проростков (длину корней и стеблей) при разных сроках выращивания, энергию прорастания, сохранение информационно-энергетических функций при разведении. Показано влияние щелочных экстрактов из отходов с/х производства на свойства почв и их инфракрасные спектры.

Литература

1. Бобырь Л.Ф., Трофимова М.Ф., Горовая А.И. Фотосинтетические процессы в растениях при введении гумата натрия в питательный раствор // Известия ТСХА, 1992, вып. 2. – С. 82-94.
2. Гармаш Н.Ю., Гармаш Г.А. Методические подходы к оценке качества гуминовых препаратов // Агрехимический вестник, 2012, № 4. – С. 17-19.
3. Гришина Е.А. Влияние органо-минерального комплекса из льняной костры на урожай и качество льна-долгунца и белого люпина: автореф. дисс. к.б.н. – М., 2015. – 18 с.
4. Гуминовые вещества и другие биологически активные соединения в сельском хозяйстве / Материалы 3 междуна- род. конф. СНГ МГО НТ. – М., 2014. – 180 с.
5. Комаров А.А. Некоторые рассуждения о действии гуминовых препаратов на растения // Агрехимический вест- ник, 2009, № 6. – С. 28-29.
6. Туркина О.С., Петриченко В.Н., Стукалов М.Ю. Действие регуляторов роста и гуминовых удобрений при не- корневой подкормке топинамбура // Агрехимический вестник, 2013, № 5. – С. 22-24.
7. Фирсов С.А., Дмитриенко Е.Ф. Агрехимическое обоснование эффективности гуматов // Плодородие, 2008, №3. – С. 35-37.
8. Савич В.И., Седых В.А., Измайлова С.А. Изучение гумата калия из птичьего помета // Агрехимический вест- ник, 2012, № 4. – С. 21-23.
9. Савич В.И., Белоухов С.Л., Алифиров М.Д. Агрехимические аспекты при выделении гуматов из биомассы растений и органических удобрений, 1. Влияние гуматов на свойства почв и биотесты // Вестник Казанского техно- логического университета, 2015, т. 18, № 2. – С. 238-242.
10. Никиточкин Д.Н., Савич В.И., Наумов В.Д., Байбеков Р.Ф. Модели плодородия почв под яблоню во времени и в пространстве. – М.: ВНИИА, 2015. – 272 с.