

Журнал входит в базу данных российских научных журналов Russian Science Citation Index на платформе Web of Science и включен в международную базу данных химических научных журналов Chemical Abstracts (CAS (pt)), а также в международную исследовательскую базу данных Research Bible.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Генин В.А., Клебанович Н.В. Оценка пространственного варьирования агрохимических показателей на отдельном поле.....2

Литвинский В.А., Гришина Е.А. и др. Применение комплексного инструментального подхода для определения содержания кадмия в растениях и продукции растениеводства.....7

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Яшин И.М., Рамазанов С.Р. Сравнительная экологическая оценка черноземов среднего Поволжья и Донской равнины.....13

Шабанов М.В., Маричев М.С. Изменение физико-химических свойств почв, подверженных техногенной нагрузке (на примере Красноуральского промузла).....19

Рахманова Г.Ф., Шаронова Н.Л. и др. Динамика фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы при применении сорбентов.....26

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Нокербекова Н.К., Сулейменов Е.Т., Жапаев Р.К. Накопление элементов питания в растениях сахарного сорго в зависимости от азотной подкормки на различных фонах обеспеченности почв подвижным фосфором.....29

Комаров А.А., Комаров А.А. Перспективы использования комплексных агрохимикатов для дифференцированного внесения в качестве средств управления ростом и развитием растений.....34

Можарова И.П., Коршунов А.А., Вознесенская Т.Ю. Влияние полифункциональных удобрений с включением гуминовых веществ, аминокислот, макро- и микроэлементов на урожайность и качество яровой и озимой пшеницы.....39

Биккинина Л.М.-Х., Лукманов А.А. и др. Агрохимическая эффективность применения глауконита для улучшения качества зерна ярового ячменя.....44

Биккинина Л.М.-Х., Яппаров И.А. и др. Оценка влияния глауконитов в последствии при возделывании сахарной свеклы.....46

Суханова И.М., Лукманов А.А. и др. Оценка действия биогумуса и сапропеля и их наноструктурных аналогов на урожайность и качество гречихи.....49

Шаронова Н.Л., Рахманова Г.Ф. и др. Эффективность наноструктурной водно-бентонитовой суспензии для предпосевной обработки семян.....53

Сидельников Н.И., Тхаганов Р.Р., Хазиева Ф.М. Особенности применения микроудобрений на лекарственных культурах.....57

Пирумова Л.Н., Милевская И.А. Тезаурус как система отражения состояния предметной области «Регуляторы роста».....61

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

Лебедев С.В., Гавриш И.А. и др. Микробиологическая активность и прооксидантные эффекты *Eisenia fetida* Savigny, 1826 при внесении в почву наночастиц вольфрама.....65

CONTENTS

RESEARCH METHODS

Genin V.A., Klebanovich N.V. Estimation of spatial variety of agrochemical parameters at current field.....2

Litvinskiy V.A., Grishina E.A., Nosikov V.V., Sushkova L.O. Application of complex instrumental approach for cadmium determination in plants and products of crop cultivation.....7

ECOLOGY PROBLEMS

Yashin I.M., Ramazanov S.R. Comparative estimation of chernozem soils at Middle Volga regions and Don river valley.....13

Shabanov M.V., Marichev M.S. Changes of physical-chemical soil properties under technogenic pressure (for example Krasnouralskiy industrial district).....19

Rakhmanova G.F., Sharonova N.L., Degtyareva I.A., Nurtdinova G.H. Dynamics of phytotoxicity of gray forest soil polluted by oil at application of sorbents.....26

PLANT NUTRITION

Nokerbekova N.K., Suleimenov Ye.T., Zhapayev R.K. Fertilizer elements accumulation in sweet sorghum plants, depending on the feeding of nitrogen fertilizers on various grounds mobile phosphorus supply of soils.....29

Komarov A.A., Komarov A.A. Prospects of the use of complex agrochemical for differentiated its introduction as a means of growth management and plant development.....34

Mozharova I.P., Korshunov A.A., Voznesenskaya T.Yu. Influence of polyfunctional fertilizers containing humic substances, amino-acids, macro- and microelements on yield and quality of spring and winter wheat.....39

Bikkinina L.M.-Kh., Lukmanov A.A., Yapparov I.A., Sidorov V.V. Agrochemical efficiency of glauconite for quality of spring barley grain.....44

Bikkinina L.M.-Kh., Yapparov I.A., Aliev Sh.A., Sidorov V.V. Assessment of the impact of glauconite in consequence of the cultivation of sugar beet.....46

Sukhanova I.M., Lukmanov A.A., Yapparov A.Kh., Gazizov R.R. Evaluation of the action of biohumus and sapropel and their nanostructural analogues on the yield and quality of grease.....49

Sharonova N.L., Rakhmanova G.F., Yapparov I.A., Sibgatullin T.A. Efficiency of nanostructured water-bentonite suspension for presowing seeds treatment.....53

Sidel'nikov N.I., Tkhanov R.R., Khazieva F.M. Particularities of microfertilizers application for medicinal plants.....57

Pirumova L.N., Milevskaya I.A. Thesaurus as a reflection system of the state of subject area «Plant growth regulators».....61

ECOTOXICOLOGY

Lebedev S.V., Gavrish I.A., Sizova E.A., Yausheva E.V. Microbiological activity and prooxidant effects of *Eisenia fetida* Savigny, 1826 in the field of nanoparticles of tungsten.....65

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

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

Редколлегия: А.И. Беленков, д.с.-х.н., С.Л. Белоухов, д.с.-х.н., Н.М. Белоус, д.с.-х.н., Н.В. Войтович, д.с.-х.н., Л.А. Дорожкина, 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), А.В. Кураков, д.б.н., 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. Персикова, д.с.-х.н. (Беларусь), А.А. Плотников, к.с.-х.н., О.А. Подколзин, д.с.-х.н., Н.И. Санжарова, д.б.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, г. Москва, ул. 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 14.12.2018 г. Печать цифровая. Формат 60x90/8. Заказ 81507

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

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОТДЕЛЬНОМ ПОЛЕ

¹В.А. Генин, ²Н.В. Клебанович, д.с.-х.н.

¹Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, e-mail: kog9@ya.ru

²Белорусский государственный университет, e-mail: n_klebanovich@inbox.ru

В ходе работы было выполнено детальное агрохимическое обследование поля с дерново-подзолистой легкосуглинистой почвой в Минском районе Республики Беларусь. На площади 40 га методом регулярной сетки было отобрано 143 образца, 10 образцов было отобрано дополнительно в качестве контроля. В лаборатории стандартными методами были определены значения кислотности почвы, содержания гумуса, подвижных соединений фосфора и калия. Для оценки вариативности агрохимических показателей поле было разделено на элементарные участки площадью 6,0 и 2,5 гектаров. Показано, что даже по элементарным участкам 50 x 50 м нельзя в полной мере оценить неоднородность основных агрохимических свойств. В ходе работы оценена возможность построения интерполяционной модели на основе плотной сетки отбора почвенных образцов.

Ключевые слова: геоинформационные системы, агрохимическое обследование почв, элементарные участки, модели интерполяции, кросс-валидация, пространственный анализ, Республика Беларусь.

ESTIMATION OF SPATIAL VARIETY OF AGROCHEMICAL PARAMETERS AT CURRENT FIELD

¹V.A. Genin, ²Dr.Sci. N.V. Klebanovich

¹Institute for Soil Science and Agrochemistry of Belarus Republic NAS, e-mail: kog9@ya.ru

²Belarusian State University, e-mail: n_klebanovich@inbox.ru

In the course of the work, a detailed agrochemical survey of the field with soddy-podzolic light loamy soil in the Minsk region of Belarus republic was carried out. On an area of 40 hectares, 143 samples were sampled using the regular grid method, 10 samples were selected additionally as a control. In the laboratory, the soil acidity, humus content, and mobile phosphorus and potassium compounds were determined by standard methods. To assess the variability of agrochemical indicators, the field was divided into elementary sites with an area of 6.0 and 2.5 hectares. It is shown that even in the elementary sections of 50 x 50 m, the heterogeneity of the basic agrochemical properties can't be fully appreciated. In the course of the work, the possibility of constructing an interpolation model based on a dense grid of soil samples selection was evaluated.

Keywords: geoinformation systems, agrochemical soil survey, elementary sites, interpolation models, cross-validation, spatial analysis, Belarus republic.

Агрохимическое обследование почв необходимо для их рационального использования. Без знания точного содержания питательных элементов в почве невозможно точно рассчитать необходимую дозу минеральных и органических удобрений. В Республике Беларусь агрохимическое обследование почвы проводят на основании методики, разработанной в Институте почвоведения и агрохимии [1]. Суть метода заключается в разбивке рабочего участка сеткой элементарных участков с использованием информации о почвенном покрове и рельефе местности. Площадь каждого элементарного участка выбирается почвоведом, при этом рекомендованный размер составляет 10 га. Допускается

вариация элементарных участков по площади от 6 до 12 га, а при однородном почвенном покрове возможны элементарные участки до 20 га. Смешанный образец отправляют в лабораторию, где проводят агрохимический анализ. Методики, используемые в России, Украине и Казахстане, не имеют кардинальных отличий.

В большинстве западных стран агрохимическое обследование не финансируется государством, и расходы на его проведение полностью ложатся на собственников земли, что породило разработку различных методов для агрохимического обследования почв. Например, в Канаде [2] один почвенный образец представляет 10 га поля и должен

быть получен путем 20 почвенных уколов в границах исследуемого элементарного участка. Университетом Небраски были разработаны рекомендации по проведению агрохимического обследования для фермеров в одноименном штате [3]. Почвенный образец должен состоять из 20-25 почвенных уколов, при этом площадь отбора почвенного образца не должна превышать 40 акров (примерно 16 га).

Несмотря на разработанные рекомендации, в научных кругах идет дискуссия о наиболее репрезентативном методе отбора почвенных образцов. Можно выделить два основных метода. Первый – метод элементарных участков, когда образцы отбирают в границах квадратов (клетки) и смешанный образец отправляют в лабораторию. Почвенные уколы могут быть сделаны в случайных местах, либо по диагонали. При этом существуют различные интерпретации данного метода, либо поле делится равномерной сетью квадратов или прямоугольников заданной площади, либо для разделения поля на участки используется дополнительная информация, такая как урожайность, спутниковые снимки, почвенная карта, рельеф и др. Второй метод предполагает проведение отбора почвенного образца в конкретных точках поля, при этом координаты отбора точно фиксируют с использованием системы спутникового позиционирования. Места отбора проб могут быть равномерно распространены по полю, либо рандомизировано. Особенностью данного метода является то, что фермер или агрономическая служба точно знают агрохимические показатели почвы в конкретных местах поля. На основании этих данных строится интерполяционная модель.

Для этих методов остается открытым вопрос, какая площадь элементарного участка или частота отбора является оптимальной? Дискуссии на эту тему ведутся с конца 20-х годов XX в. Американские ученые [4], работая с почвенной кислотностью, доказали, что фермеры теряют сотни тысяч долларов из-за недобора урожая, связанного с низкими значениями pH. По их мнению, один отдельный образец не может дать точной информации о почвенной кислотности. С использованием картографического материала авторы наглядно продемонстрировали вариацию почвенной кислотности на поле. McIntyre G. [5] на примере своих исследований доказал, что увеличение частоты отбора почвенных образцов уменьшает локальную вариацию агрохимических показателей.

Hammond M.W. с соавторами [6] рассматривал оптимальный размер сетки для описания распространения основных питательных элементов в почве при возделывании картофеля в границах штата Вашингтон. Он пришел к выводу, что оптимальный размер сетки отбора почвы должен составлять 60 на 60 м, а ячейки с размером 120 на 120 м или больше нерепрезентативны. Franzen D.W. с соавто-

рами [7] утверждал, что оптимальная плотность отбора почвенных образцов составляет 66 м. Wollenhaupt N.C. с соавторами [8] писал об оптимальном размере клетки в 60 на 60 м, при этом авторы работы предполагали, что для некоторых обстоятельств размер клетки должен быть уменьшен. Mallarino A.P. и Witty D.J. [9] показали, что сетка больше 0,8 га в большинстве случаев для дифференцированного внесения удобрений и при картировании фосфора и калия не может быть использована.

Американские ученые [10] исследовали вариацию почвенной кислотности на двух полях, расположенных в северной части Миннесоты, путем отбора 110 образцов с плотностью в 0,1 га. На основании этих данных авторами была построена интерполяционная модель, ошибка интерполяции оценивалась с использованием дополнительных почвенных образцов и составила 0,3 единиц pH.

Работы по оценке пространственной вариации почвенных свойств с использованием крупномасштабного агрохимического обследования для зоны дерново-подзолистых почв – зональных для Республики Беларусь, нам не известны. Поэтому **целью исследований** было выявление степени варьирования основных агрохимических показателей почв в зависимости от размера участка для отбора единичного почвенного образца. В ходе исследования основными задачами были ответы на следующие вопросы:

Как изменяются значения вариативности почвенных свойств с изменением площади элементарного участка. Возможно ли с использованием детального агрохимического обследования построить интерполяционные модели и предсказать свойства почв в местах, где отбор почвенных образцов не производили.

Объекты и методы. Объектом исследования был сельскохозяйственный участок площадью 76 га в Минском районе, на котором распространены дерново-подзолистые почвы, типичные для Республики Беларусь. Поле имеет волнистый рельеф с перепадами высот 17 м. Гранулометрический состав нельзя назвать однородным, на возвышенностях распространены связные супеси, в низинах и ложбинах стока – легкие суглинки. Гидрологический режим поля также является сложным, что обусловлено рельефом. В основном почвы на поле автоморфные, в ложбинах стока и в нескольких локальных понижениях присутствуют полугидроморфные почвы (чаще – временно избыточно увлажненные, по белорусской классификации). Сельскохозяйственный участок также имеет сложную конфигурацию. В 2014 г. на поле произрастал озимый тритикале, средняя урожайность составляла 78 ц/га, в 2015 г. поле было использовано под кукурузу на силос, в 2016 г. на поле произрастал ячмень со средней урожайностью в 54 ц/га. Высокие значения урожайности говорят о том, что поле высокоплодородное.

На первом этапе была создана сетка отбора почвенных образцов. Анализируя предыдущие исследования, было принято решение проводить агрохимическое обследование равномерной сеткой с шагом в 50 м. Так как поле обладает сложной конфигурацией, в его границы был вписан прямоугольник со сторонами, кратными 50 м. Длина верхней стороны прямоугольника составила 550 м, длина боковой стороны 650 м. Как результат, было получено 143 места отбора почвенных образцов по регулярной сетке. Также определили 10 контрольных мест отбора для валидации, они были равноудалены от 4 точек отбора. Далее в работе под полем исследования был участок, ограниченный построенным нами прямоугольником.

Полученные координаты мест отбора почвенных образцов экспортировались в GNNS приемник, работающий в режиме RTK с точностью 5 см. В ходе полевых работ осуществлялся выход на точки и непосредственный отбор почвенных образцов. В радиусе 1 м от полученных координат проводили 10-15 почвенных уколов на глубину 15 см, в результате чего получался смешанный образец, который отправляли в лабораторию на анализ содержания гумуса, фосфора, калия, почвенной кислотности в конкретных точках поля. В ходе исследования также была цель определить вариацию почвенных свойств для элементарных участков площадью 6 и 2,5 га, построенных в границах исследуемого поля и оценить точность интерполяции почвенных свойств на основании сетки отбора почвенных образцов с шагом сетки в 50 и 100 м.

Результаты. По данным агрохимического анализа по содержанию гумуса, фосфора, калия и почвенной кислотности из агрохимической лаборатории, в первую очередь нами была оценена вариативность исследуемых показателей для всего поля.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что большинство почвенных свойств имеет значительную вариативность. Максимальное варьирование характерно для содержания подвижного калия – 46%, вдвое ниже по содержанию гумуса и подвижных (по Кирсанову) соединений фосфора – 24%, а минимальное – по рН (табл. 1), что естественно ввиду логарифмического характера данного показателя.

На следующем этапе исследования была проведена оценка вариативности агрохимических свойств

1. Статистические параметры для исследуемых агрохимических показателей почвы в границах всего поля

Значение	Гумус, %	Фосфор, мг/кг	Калий, мг/кг	рН _{KCl}
Среднее	2,1	134	340	6,01
Минимальное	1,08	41	140	4,95
Максимальное	3,97	390	450	7,15
Стандартное отклонение	0,51	61	81	0,46
Коэффициент вариации	0,24	0,46	0,24	0,08

почв в границах элементарных участков. Для этого поле в границах агрохимического обследования было разделено на 6 элементарных участков, средней площадью в 6,6 га (6,5-7,0 га). В каждый элементарный участок вошло от 23 до 27 точек наблюдений, что вполне достаточно для статистического анализа. Оценку вариативности по каждому участку проводили с использованием инструментов пространственного анализа.

Анализируя таблицу 2, можно сделать вывод, что для большинства участков поля вариативность содержания гумуса существенно снизилась по сравнению со всем полем, при этом также можно наблюдать обратное, для двух элементарных участков коэффициент вариации выше среднего. По содержанию подвижного фосфора и калия для некоторых участков также получено существенное снижение коэффициента вариации, а на других – увеличение. По почвенной кислотности наблюдаются самые низкие значения коэффициентов вариации, причем оно снизилось для всех элементарных участков по сравнению с полем в целом.

На следующем этапе исследования анализировали значения стандартного отклонения для элементарных участков средней площадью 2,5 га. Количество наблюдений, попавшее в каждый из элементарных участков, составило от 9 до 12, что приемлемо для статистического анализа. Всего элементарных участков было 14. Методика пространственного анализа была такой же, как и для участков средней площадью 6 га. Наибольшее варьирование характерно для содержания фосфора – 33%, наименьшее – для кислотности (6%). Параметры стандартного отклонения и коэффициента вариации изменились незначительно по сравнению с совокупностью участков по 6 га по всем показателям (табл. 3).

2. Статистические данные для агрохимических показателей при размере элементарных участков 6 га

Показатель	Мин.	Макс.	Среднее
Содержание гумуса, %			
Среднее значение	1,79	2,65	2,14
Стандартное отклонение	0,27	0,61	0,4
Коэффициент вариации	0,13	0,26	0,19
Содержание подвижных соединений фосфора, мг/кг			
Среднее значение	90	179	132
Стандартное отклонение	28	72	49
Коэффициент вариации	0,29	0,47	0,37
Содержание подвижных соединений калия, мг/кг			
Среднее значение	302	447	370
Стандартное отклонение	40	79	63
Коэффициент вариации	0,09	0,22	0,18
Кислотность			
Среднее значение	5,73	6,35	6,05
Стандартное отклонение	0,33	0,46	0,41
Коэффициент вариации	0,06	0,08	0,07

3. Статистические данные для агрохимических показателей при размере элементарных участков 2,5 га

Показатель	Мин.	Макс.	Среднее
Содержание гумуса, %			
Среднее значение	1,64	2,78	2,12
Стандартное отклонение	0,19	0,65	0,37
Коэффициент вариации	0,09	0,29	0,18
Содержание подвижных соединений фосфора, мг/кг			
Среднее значение	88	195	129
Стандартное отклонение	17	92	44
Коэффициент вариации	0,19	0,54	0,33
Содержание подвижных соединений калия, мг/кг			
Среднее значение	265	449	365
Стандартное отклонение	34	92	61
Коэффициент вариации	0,08	0,27	0,17
Кислотность			
Среднее значение	5,64	6,40	6,04
Стандартное отклонение	0,19	0,55	0,38
Коэффициент вариации	0,05	0,07	0,06

Следующей задачей, которую мы пытались решить в данной работе, является ли плотность отбора с шагов сетки в 50 м достаточной для построения точной интерполяционной модели для предсказания агрохимических свойств почв в местах, где отбор проб не производили, и на сколько возрастет ошибка предсказания с увеличением шага сетки до 100 м. Для анализа мы располагали 143 точками наблюдения для построения интерполяционной модели и 10 точками наблюдения для оценки точности интерполяции. Для интерполяции использовали метод кросс-валидации, суть которого заключается в том, что

сначала для строительства интерполяционной модели используют все места отбора почвенных образцов, а потом шаг за шагом каждый образец поочередно исключается из анализа. После этого рассчитывается разница между предсказанным и наблюдаемым значением. Расчеты показали, что метод радиальных базисных функций дает самые низкие значения среднеквадратичной ошибки при кросс-валидации. Для содержания гумуса она составила 0,37%, для содержания фосфора 43 мг/кг, для калия 61 мг/кг, для почвенной кислотности 0,36 единиц рН. Картограмма распределения агрохимических показателей по полю представлена на рисунке 1.

Далее с использованием контрольных точек наблюдений, которые не участвовали в расчетах интерполяционной модели, оценили, с каким качеством можем предсказывать содержание агрохимических показателей в местах, где отбор проб не производили. Для этого от фактических значений отняли рассчитанные значения и рассчитали среднее по модулю. Для содержания гумуса ошибка составила 0,44%, для фосфора 55 мг/кг, для калия 74 мг/кг, для почвенной кислотности 0,35 единиц рН.

Если сравнивать значения ошибок, полученных при кросс-валидации и валидации с использованием контрольных точек, можно заметить, что во втором случае значения ошибок несколько увеличились для всех агрохимических показателей. На основании этого можно сделать вывод, что даже сетка плотностью в 50 м не дает точного представления о распределении агрохимических показателей по полю.

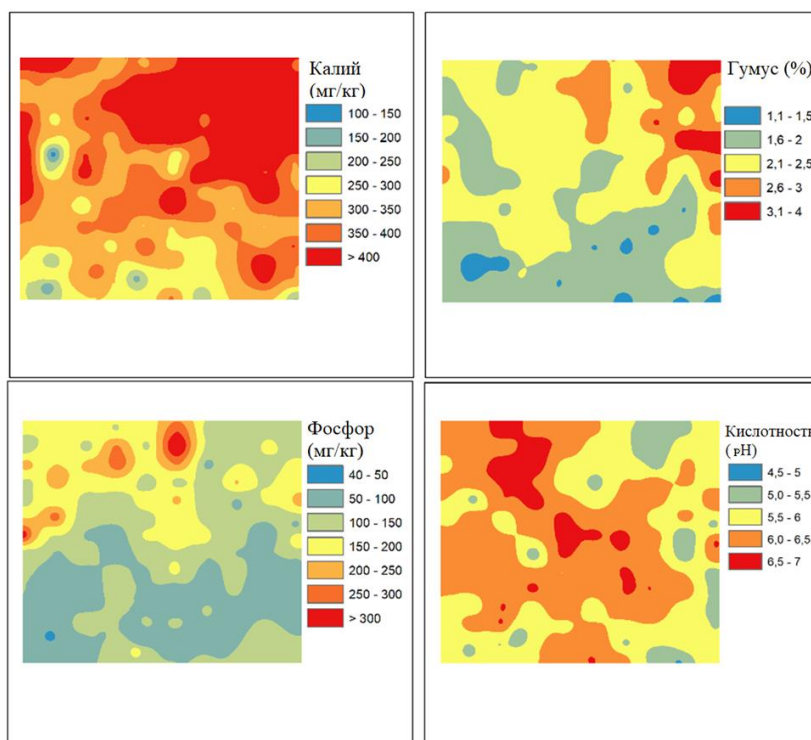


Рис. 1. Интерполяционные модели для исследуемых показателей для плотности сети в 50 м

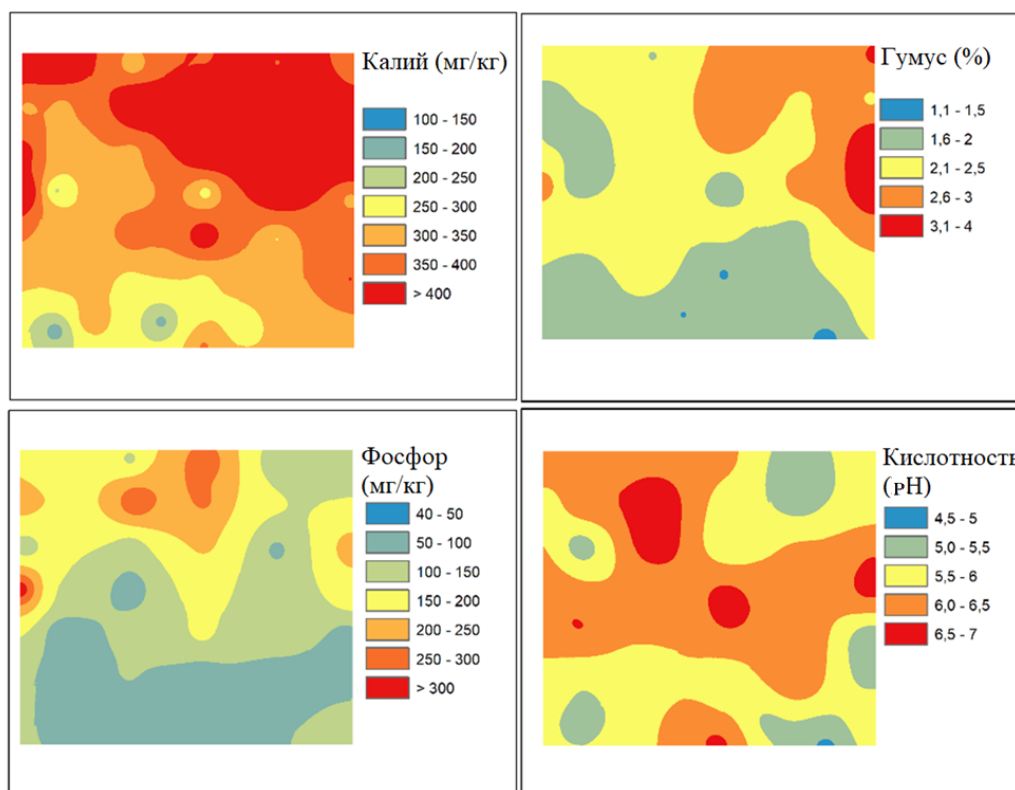


Рис. 2. Интерполяционные модели для исследуемых показателей для плотности сети в 100 м

4. Рассчитанные ошибки при построении интерполяционных моделей

Показатель	Ошибка кросс-валидации, 50 м	Ошибка, контрольные точки 50 м	Ошибка кросс-валидации, 100 м	Ошибка, контрольные точки 100 м
Гумус, %	0,37	0,44	0,41	0,46
Фосфор, мг/кг	43	55	58	50
Калий, мг/кг	61	74	80	72
pH _{KCl}	0,36	0,35	0,45	0,35

Для дальнейшего анализа плотность сетки уменьшили до 100 м и построили интерполяционные модели для каждого из агрохимических показателей. Как и для сетки в 50 м, наименьшую ошибку кросс-валидации показал метод радиально базисных функций. Для содержания гумуса ошибка составила 0,41%, для содержания фосфора 58 мг/кг, для калия 80 мг/кг, для почвенной кислотности 0,45 единиц рН.

Была измерена площадь отдельных групп содержания элементов питания (кислотности) при размерах участков 6 и 2,5 га. Можно отметить, что с уменьшением размера элементарных участков доля низкообеспеченных (менее 2,0%) гумусом почв увеличилась на 6%, низкообеспеченных фосфором (менее 150 мг/кг) на 8%, то есть более подробная информация о неоднородности почвенных свойств в ряде случаев помогает выявить критичные по отдельным показателям зоны внутри поля. Затем была проведена оценка интерполяционной модели с использованием контрольных точек. Использовали тот же набор точек, что и при оценке

интерполяционной модели, полученной с шагом 50 м (10 точек наблюдения). В итоге среднее значение ошибки по модулю для содержания гумуса составило 0,46%, для фосфора 50 мг/кг, для калия 72 мг/кг, для кислотности 0,35 (табл. 3).

Таким образом, основные агрохимические показатели часто варьируют внутри отдельных полей. Существенные значения вариативности исследуемых агрохимических показателей дерново-подзолистых почв сохранялись как и для всего поля, так и для элементарных участков площадью 6 и 2,5 га. Уменьшение площади элементарных участков снижает значения коэффициента вариации, но это снижение недостаточно существенно. Даже для участков площадью 2,5 га при среднем содержании гумуса по полю 2,1% для некоторых элементарных участков получили значения коэффициента вариации свыше 39%. Аналогичная ситуация наблюдалась и для остальных исследуемых агрохимических показателей. Установлено, что шаг сетки в 100 и 50 м не дает точного представления о простран-

ственном распределении почвенных свойств на исследуемом поле, о чем говорит тот факт, что ошибка при кросс-валидации сопоставима с ошибкой, полученной при валидации с использованием контрольных точек. Для реального использования в точном земледелии площадь отбора для единичного почвенного образца должна быть существенно меньше 2,5 га.

Литература

1. Методика крупномасштабного агрохимического и радиологического исследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь / сост. И.М. Богдевич, В.В. Лапа и др. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 1992. – 44 с.
2. Агрохимическое обследование в Канаде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex1341](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex1341).
3. Shaver T.M. Nutrient management for agronomic crops in Nebraska. – Nebraska: Nebraska Extension, 2014. – P. 362.
4. Linsley C.M., Bauer F.C. Test your soil for acidity // University of Illinois, Agricultural Experiment Station, 1929, Vol. 346. – P. 1-16.
5. McIntyre G. Soil sampling for soil testing // Australian Institute of Agricultural Science, 1967, Vol. 33. – P. 309-320.
6. Hammond M.W., Robert P.C., Rust R.H., Larson W.E. Cost analysis of variable fertility management of phosphorus and potassium for potato production in central Washington // Soil Specific Crop Management, 1993, Vol. 21, № 2. – P. 213-228.
7. Franzen D.W., Hofman V.L., Halvorson A.D., Cihacek L.J. Sampling for site-specific farming: topography and nutrient considerations // Better Crops, 1996, Vol. 80, № 3. – P. 14-17.
8. Wollenhaupt N.C., Mulla D.J., Gotway C.A. Soil Sampling and Interpolation Techniques for Mapping Spatial Variability of Soil Properties // Amer. Soc. Agronomy, 1997, Vol. 91, № 1. – P. 19-53.
9. Mallarino A.P., Wittry D.J. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter // Precis. Agric., 2004, Vol. 5, № 1. – P. 131-144.
10. Han S., Hummel J.W., Goering C.E., Cahn M.D. Cell size selection for site-specific crop management // Trans. ASAE, 1994, Vol. 37. – P. 19-26.

УДК 543.423.1:631.95

DOI 10.24411/0235-2516-2018-10052

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КАДМИЯ В РАСТЕНИЯХ И ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

В.А. Литвинский, к.б.н., Е.А. Гришина, к.б.н., В.В. Носиков, к.б.н., Л.О. Сушкова
ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, e-mail: vl.litvinskiy@gmail.com

В условиях распространения органического земледелия особое внимание уделяют продукции растениеводства, пригодной для приготовления кормов в органическом животноводстве. Безопасность таких кормов определяется, в том числе, и содержанием токсичных поллютантов, таких как кадмий. Актуальные для Российской Федерации нормативные документы предписывают определение содержания этого тяжелого металла с использованием классических сухого и/или мокрого озоления для подготовки пробы и атомно-абсорбционной спектроскопии. Для решения этой задачи на современном, принципиально более высоком уровне предложен комплексный подход, включающий СВЧ-разложение проб и анализ методом АЭС-ИСП.

Ключевые слова: кадмий, методы определения, атомно-эмиссионная спектрометрия, индуктивно-связанная плазма, СВЧ-минерализация, растения, продукция растениеводства.

APPLICATION OF COMPLEX INSTRUMENTAL APPROACH FOR CADMIUM DETERMINATION IN PLANTS AND PRODUCTS OF CROP CULTIVATION

Ph.D. V.A. Litvinskiy, Ph.D. E.A. Grishina, Ph.D. V.V. Nosikov, L.O. Sushkova
All-Russian SRI for Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, e-mail: vl.litvinskiy@gmail.com

In conditions of distribution of organic farming, special attention is paid to the properties of crop production, suitable for the preparation of feed in organic livestock. The safety of such feeds is determined, among other things, by the content of toxic pollutants, like cadmium. At the present time, the normative documents relevant to the Rus-

sian Federation prescribe the determination of the content of this heavy metal using classical dry and/or wet ashing for sample preparation and AAS analysis. To solve this problem at a modern, essentially higher level, we proposed a comprehensive approach, including microwave digestion of samples and analysis by the AES-ICP method.

Keywords: *cadmium, methods of determination, atomic emission spectrometry, inductively coupled plasma, microwave digestion, plants, plant products.*

Точное и достоверное определение содержания микроэлементов и тяжелых металлов (ТМ) в растениях и растениеводческой продукции, используемой в животноводстве на корм скоту, приобретает особую важность в свете распространения органического сельского хозяйства [1, 2]. Среди ТМ кадмий – токсикант первого класса опасности [3], поэтому требует непрерывного мониторинга [4]. Его доступность из почвы для растений, способность к миграции в цепи растение-животные-человек в сочетании со способностью накапливаться в живых организмах [5], токсичностью в ультранизких концентрациях и выраженными мутагенными свойствами делают этот элемент чрезвычайно опасным [6, 7]. По этой причине актуально использование точного, достоверного и производительного аналитического метода для измерения содержания кадмия в растениях и продукции растениеводства [8, 9].

Используемые в России нормативные документы, регламентируют определение содержания кадмия в растительном сырье и кормах атомно-абсорбционным методом (ААС) с классическими сухим или мокрым озолением в качестве пробоподготовки [10-12]. В настоящее время существует инструментальная альтернатива этим двум методам – разложение при повышенном давлении, интенсивно используемое в смежных областях [13] и закрепленное в международных [14, 15], межгосударственных [16] и национальных нормативных документах [17]. Наиболее частое приборное воплощение этого подхода – лабораторная установка СВЧ-разложения. Устройства этого типа характеризуются более высокой воспроизводимостью по сравнению с классическими методами вследствие увеличения полноты минерализации, обусловленной быстротой и равномерностью нагрева реакционной смеси; превышением температуры кипения, соответствующей давлению в системе и локальным эффектам в самой пробе [18]. СВЧ-разложение в герметично закрытых сосудах позволяет предотвратить потери летучих соединений (в частности, соединений мышьяка и ртути) в ходе минерализации и не требует непосредственного контакта оператора с горячими концентрированными кислотами.

В современной международной аналитической практике, базирующейся на международных нормативных материалах для решения задач определения содержания микроэлементов и тяжелых металлов, в том числе кадмия, все чаще используется метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) [19, 20]. Этот метод

АЭС-ИСП обладает рядом принципиальных достоинств по сравнению с методом атомно-абсорбционной спектроскопии, в первую очередь экспрессностью при анализе в одной пробе содержания нескольких элементов и более высокой воспроизводимостью аналитических результатов [21-24].

Цель работы – оценка пригодности для анализа содержания кадмия в растениях и растениеводческой продукции комплексного метода, включающего СВЧ-разложение растительных проб и измерение методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

Методика и объекты исследования. Для определения содержания кадмия выступали стандартные образцы (СО) растительной продукции. Для оценки пригодности СВЧ-минерализации при пробоподготовке минерализаты, полученные в результате СВЧ-разложения, были проанализированы методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Дополнительно использовали растворы-озоляты СО для моделирования минерализатов растительного материала различного происхождения с максимально допустимым уровнем (МДУ) содержания кадмия. Эти растворы готовили путем добавления к аликвотам озолятов аликвот ГСО, содержащих количество кадмия, соответствующее его концентрации в растворе после разложения пробы растительности с содержанием определяемого тяжелого металла, близком к МДУ. Полученные растворы анализировали ААС и АЭС-ИСП, что позволило оценить метрологические характеристики для определения концентраций кадмия, находящихся в области значений МДУ предлагаемым аналитическим методом и сравнить полученные данные с результатами анализа гостированным методом.

Варианты эксперимента: 1. СО 10-222-2017 (зерно пшеницы); 2. СО 10-222-2017 + МДУ; 3. СО 10-223-2017 (сено злаковое); 4. СО 10-223-2017 + МДУ; 5. СО 10-209-2015 (травяная мука бобовая); 6. СО 10-209-2015 + МДУ; 7. СО 10-201-2015 (клубни картофеля); 8. СО 10-201-2015 + МДУ; 9. СО 10-204-2014 (зерно кукурузы); 10. СО 10-204-2014 + МДУ.

Реагенты. Используемые реактивы имели квалификацию не ниже ЧДА. Водные растворы были приготовлены с использованием деионизированной воды (ГОСТ Р 52501-2005), полученной путем очистки на ионообменных смолах с последующим фильтрованием через мембранный фильтр с размером ячейки 0,2 мкм (система водоподготовки Easy-Pure II, пр-во Thermo Scientific). Водные растворы

хранили в полиэтиленовых емкостях для исключения возможной контаминации ионами кадмия. Для анализа использовали следующие растворы: 1. HNO_3 конц.; 2. ГСО ионов кадмия 10730-2015 (СО ВРК-ПА-1); 3. Рабочие растворы: 1. 0,00 мг/дм³; 2. 0,05 мг/дм³; 3. 0,2 мг/дм³; 4. 0,5 мг/дм³; 5. 1,0 мг/дм³; 6. 2,0 мг/дм³; 4. Кислота лимонная, х.ч. (ГОСТ 3652, раствор в деионизированной воде с массовой долей 20%); 5. Фенолфталеин (ТУ 6-09-5360, раствор водно-спиртовой массовой долей 1%); 6. Аммиак водный х.ч. (ГОСТ 3760, раствор с массовой долей 5%); 7. Натрия N,N-диэтилдитиокарбамат, ч.д.а. (ГОСТ 8864, раствор в деионизированной воде массовой долей 0,5%, готовился в день анализа); 8. Бутиловый эфир уксусной кислоты, ч (ГОСТ 22300).

Подготовка проб. Пробы растительных объектов высушивали в сушильном шкафу при температуре +65°C, затем пробу размалывали на лабораторной мельнице и просеивали через сито с отверстиями 1 мм. Остаток на сите после ручного измельчения в ступке добавляли к просеянной части и тщательно перемешивали. Массовую долю гигроскопической влаги определяли в приготовленных для испытания пробах (ГОСТ 31640-2012).

Минерализацию навесок СО осуществляли с использованием устройства СВЧ-разложения MDS-2000, производство СЕМ, США. Максимальная мощность данной системы составляет 630 Вт, она оснащена шестью аналитическими фторопластовыми автоклавами.

Навеску растительной пробы массой 1,0±0,01 г помещали в автоклав и приливали к ней 10,0±0,1 см³ концентрированной азотной кислоты. Автоклавы герметично закрывали и помещали в устройство микроволновой подготовки СВЧ-разложения MDS-2000. Минерализацию осуществляли согласно рекомендациям производителя: четыре цикла нагрева (5 мин.)/охлаждения (10 мин.), мощность нагрева составляла 50% от максимальной.

После окончания минерализации автоклавы вынимали из устройства микроволновой подготовки и давали остыть в вытяжном шкафу до комнатной температуры. Затем автоклавы открывали, каждый минерализат переносили в отдельную мерную пробирку объемом 20 см³ и доводили до метки деионизированной водой. Для озолятов с добавлением ГСО раствора кадмия в отдельные пробирки отбирали 10 см³ и вносили аликвоту ГСО объемом 5 мкл. Также выполняли контрольный опыт, для которого проводили все стадии анализа, кроме взятия навески пробы.

Определение содержания кадмия методами ААС и АЭС-ИСП проводили в трехкратной аналитической повторности для каждого из 5 параллельно приготовленных минерализатов стандартных образцов. Содержание кадмия во всех минерализатах стандартных образцов после СВЧ-разложения было на 1-2 порядка выше предела обнаружения атомно-эмиссионного

спектрометра и в тоже время на порядок ниже предела обнаружения атомно-абсорбционного спектрометра, что делало невозможным прямое измерение последних. Поэтому перед анализом выполняли экстракционное концентрирование СВЧ-озолятов в соответствии с ГОСТ 30178-96.

Оборудование. В работе использовали: ААС-анализатор AAS Vario 6 (Analytic Jena AG, Германия) и атомно-эмиссионный АЭС-ИСП-анализатор iCAP 6300 DUO (Thermo Scientific, США). ААС-анализатор обеспечивает измерения с использованием источников резонансного излучения (лампы с полым катодом), корректировкой фонового поглощения с помощью дейтериевой лампы и в режиме атомизации в воздушно-ацетиленовом пламени, что соответствует требованиям нормативных документов, применявшихся при установлении метрологических характеристик СО. Ширина щели – дискретно изменяемая, 0,2; 0,5; 0,8; и 1,2 нм. Спектральный диапазон от 190 до 870 нм. Предел обнаружения для определения кадмия в растворах, согласно описанию типа средства измерения [22], составляет 20 млрд.⁻¹. АЭС-ИСП-анализатор обладает возможностью двойного (радиального и аксиального) обзора плазмы, монохроматор – дифракционная решетка Эшелле, детектор – CID-технологии четвертого поколения. Спектральное разрешение – менее 0,007 нм. Спектральный диапазон от 166 до 847 нм. Предел обнаружения для определения кадмия в растворах, согласно описанию типа средства измерения [23], составляет 0,5 млрд.⁻¹ при радиальном и 0,2 млрд.⁻¹ при аксиальном обзоре плазмы.

При выполнении анализа использовали рекомендованные значения рабочих параметров спектрометра (табл. 1).

Для анализа были выбраны 3 длины волн: 228,802, 214,438 и 326,106 нм. При выборе длин волн руководствовались стремлением исключить влияние (интерференции) от других присутствующих в минерализатах микроэлементов или тяжелых металлов, содержание которых определяли при разработке методики.

Результаты и их обсуждение. Для каждого стандартного образца содержание кадмия, определенное методом атомно-абсорбционной спектроскопии после СВЧ-минерализации как среднее для трех аналитических повторностей, находилось в диапазоне значений, заданном абсолютной погрешностью значения СО, аттестованной с использованием атомно-аб-

1. Рабочие параметры АЭС-ИСП-анализатора

Параметр	Значение
Мощность плазмы	1150 Вт
Скорость насоса	50 об/мин
Распылительный поток	0,5 л/мин
Вспомогательный поток	1,0 л/мин
Обзор плазмы	Двойной

2. Содержание кадмия в стандартных образцах растительности

№ п/п	Образец	Среднее измеренное значение*, млн. ⁻¹	Стандартное отклонение*, млн. ⁻¹	Аттестованное значение СО, млн. ⁻¹	Аттестованная погрешность измерения СО, млн. ⁻¹
1	ОСО 10-222-2017	0,072	0,001	0,072	0,001
2	ОСО 10-223-2017	0,192	0,004	0,194	0,006
3	ОСО 10-209-2015	0,218	0,001	0,217	0,002
4	ОСО 10-210-2015	0,064	0,001	0,064	0,001
5	ОСО 10-204-2014	0,032	0,002	0,032	0,002

*Рассчитано для трех аналитических повторностей.

3 Дисперсионный анализ варьирования содержания кадмия в СВЧ-минерализатах для экспериментальных повторностей (n = 5)

№ п/п	Образец	F-фактическое	Уровень значимости	F-критическое
1	ОСО 10-222-2017	3,45	0,05	3,48
2	ОСО 10-223-2017	3,41	0,05	3,48
3	ОСО 10-209-2015	3,37	0,05	3,48
4	ОСО 10-210-2015	3,44	0,05	3,48
5	ОСО 10-204-2014	3,44	0,05	3,48
Коэффициент вариации		0,01		

сорбционной спектроскопии после классического озоления, рекомендованного соответствующим ГОСТ (табл. 2 и 3).

Для любого из стандартных образцов фактическое значение F-критерия Фишера с достоверностью не менее 95% было ниже F-значения критического, что свидетельствует об отсутствии статистически значимой вариации процесса СВЧ-минерализации как пробоподготовки для анализа содержания кадмия в растительности. Наблюдаемое же варьирование значений статистического показателя, не превышающее 1,0%, зависело от степени гомогенности СО зерна, сена, муки и клубней.

Результаты, полученные при определении содержания кадмия в стандартных образцах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, представлены в таблице 4.

Средние значения содержания кадмия в стандартных образцах, определенные методом АЭС-ИСП после СВЧ-разложения навесок с аттестованными значениями СО, находятся в диапазоне, заданном аттестованной по-

грешностью. Внесение аликвот ГСО в озолоты для моделирования содержания кадмия в растительности на уровне значений МДУ вносило случайную ошибку в измерение и делало невозможным использование расчетных значений содержания определяемого элемента.

Поэтому результаты атомно-эмиссионного анализа модельных растворов с содержанием кадмия, близкие к МДУ, сравнивали со значениями, полученными для атомно-абсорбционного анализа этих растворов с помощью парного t-критерия Стьюдента. Для увеличения статистической мощности использовали все значения, полученные для трехкратного анализа пяти минерализатов каждого из стандартных образцов.

Уровень значимости t-критерия для каждого из этих сравнений на несколько порядков ниже значения 0,05, что свидетельствует о достоверности результатов анализа гостированным и предлагаемым методом после минерализации при повышенном давлении. В области значений, соответствующей естественному содержанию кадмия в растительной продукции, значимость для критерия Стьюдента также была не хуже 0,05, что подтверждает принадлежность значений, полученных методом АЭС-ИСП, к аттестованным диапазонам содержания анализируемого кадмия в этих СО. Рост значимости для критерия Стьюдента на два порядка при сравнении более высоких содержа-

4. Содержание кадмия в стандартных образцах растительности

№ п/п	Образец	Среднее значение*, млн. ⁻¹	Стандартное отклонение*, млн. ⁻¹	Среднее значение, полученное методом ААС*, млн. ⁻¹	Стандартное отклонение для значений, полученных методом ААС*, млн. ⁻¹	Уровень значимости для t-критерия
1	ОСО 10-222-2017	0,0714	0,0003	0,072	0,001	0,03
2	ОСО 10-222-2017+ МДУ	0,5821	0,0007	0,577	0,005	0,0007
3	ОСО 10-223-2017	0,1943	0,0002	0,192	0,004	0,0001
4	ОСО 10-223-2017 + МДУ	0,6946	0,0002	0,692	0,003	0,0007
5	ОСО 10-209-2015	0,2165	0,0006	0,218	0,001	0,0001
6	ОСО 10-209-2015 + МДУ	0,7214	0,0003	0,718	0,001	0,0006
7	ОСО 10-210-2015	0,0645	0,0004	0,064	0,001	0,03
8	ОСО 10-210-2015 + МДУ	0,5696	0,0005	0,567	0,002	0,0004
9	ОСО 10-204-2014	0,0323	0,0006	0,032	0,002	0,02
10	ОСО 10-204-2014 + МДУ	0,5312	0,0006	0,534	0,002	0,0006

*Рассчитано для трех аналитических повторностей.

5. Дисперсионный анализ варьирования содержания кадмия в СВЧ-минерализатах для экспериментальных повторностей (n = 5)

№ п/п	Образец	F-фактическое	Уровень значимости	F-критическое
1	ОСО 10-222-2017	3,43	0,05	3,48
2	ОСО 10-223-2017	3,39	0,05	3,48
3	ОСО 10-209-2015	3,35	0,05	3,48
4	ОСО 10-210-2015	3,44	0,05	3,48
5	ОСО 10-204-2014	3,43	0,05	3,48
Коэффициент вариации		0,01		

ний кадмия объясняется более точным измерением атомно-абсорбционным методом в соответствующей области значений.

При сравнении данных таблиц 2 и 4 также видно, что относительное стандартное отклонение для аналитических повторностей атомно-эмиссионного определения содержания кадмия в диапазоне значений 0,01-0,1 млн.⁻¹ не превышало 2%. Для измерений в диапазоне 0,1-0,5 млн.⁻¹ это значение было не выше 0,28% и для содержания кадмия свыше 0,5 млн.⁻¹ – 0,12%. Все эти три значения значительно ниже соответствующих величин этого параметра, закрепленных в нормативных документах для атомно-абсорбционного способа определения содержания кадмия в растительной продукции. Фактические значения относительного стандартного отклонения и абсолютное стандартное отклонение для АЭС-ИСП измерений были в среднем в 3-4 раза меньше, чем для атомно-абсорбционного.

С помощью однофакторного дисперсионного анализа оценивали влияние микроволновой пробоподготовки на варьирование результатов анализа содержания кадмия (табл. 5).

Результаты показывают, что для любого из стандартных образцов фактическое значение F-критерия для измерения содержания кадмия методом АЭС-ИСП с достоверностью не менее 95% было ниже F-значения критического. Это свидетельствует об отсутствии статистически значимой вариации результатов АЭС-ИСП-анализа при СВЧ-пробоподготовке для анализа содержания кадмия в растительности. Варьирование значе-

ний $F_{\text{факт.}}$, отнесенное ранее на счет разницы в степени гомогенности стандартных образцов, прослеживалось и в этом случае. Однако, несмотря на большую чувствительность атомно-эмиссионного определения по сравнению с атомно-абсорбционным, эта тенденция оставалась статистически недостоверной, что подтверждает пригодность СВЧ-минерализации для подготовки растительных проб различных физико-механических свойств к анализу содержания кадмия.

Таким образом, полученные в эксперименте относительная и абсолютная воспроизводимости определения содержания кадмия в растительной продукции различного происхождения, превосходили соответствующие показатели для гостированного аналитического метода в 3-4 раза и свидетельствовали о преимуществах предлагаемого подхода перед общепринятым, используемым для подготовки проб классические способы озоления и атомно-абсорбционную спектроскопию в качестве аналитического метода. В результате выполненного исследования предложен комплексный подход для определения содержания кадмия в растениях и продуктах растениеводства, включающий СВЧ-минерализацию проб и определение методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. С использованием статистических показателей и отраслевых стандартных образцов состава кормов и сельскохозяйственной продукции была подтверждена пригодность предложенного подхода для определения содержания кадмия в растениях и продуктах растениеводства.

Работа выполнена по материалам Государственного задания, тема № 0572-2014-0011.

Литература

1. Литвинский В.А., Гришина Е.А., Носиков В.В., Белопухов С.Л. Проточные анализаторы: приложение способа автоматизации экологических исследований к классическим методам агрохимического анализа почвы // Вестник Казанского технологического университета, 2016, Т. 19, № 21. – С. 178-180.
2. Литвинский В.А., Гришина Е.А., Носиков В.В., Белопухов С.Л. Химический анализ подвижных соединений бора на проточном анализаторе San⁺⁺ // Вестник Казанского технологического университета, 2016, Т. 19, № 23. – С. 149-153.
3. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
4. Батова Ю.В., Титов А.Ф., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Накопление кадмия и его распределение по органам у растений ячменя разного возраста // Труды Карельского научного центра РАН, 2012, № 2. – С. 32-37.
5. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Устойчивость растений к кадмию (на примере семейства злаков). Учебное пособие. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – 55 с.
6. Александрова Ю.А. Кормовые токсикозы сельскохозяйственных животных и птицы. Учебное пособие. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2000. – 88 с.
7. Gupta U.C., Gupta S.C. Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management // Communications In Soil Science And Plant Analysis, 1998, V. 29, № 11-14. – P. 1491-1522.
8. ГОСТ 26933-86. Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия.
9. ГОСТ Р 51301-99. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка).

10. ГОСТ Р 55447-2013. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение содержания кадмия, свинца, мышьяка, ртути, хрома, олова методом атомно-абсорбционной спектроскопии.
11. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов.
12. ГОСТ 30692-2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия.
13. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов.
14. Третьякова Е.И., Плотникова О.Е., Ильина Е.Г. Микроволновой метод подготовки проб для определения общего фосфора в объектах окружающей среды // Ползуновский вестник, 2008, № 1-2. – С. 152-156.
15. ISO 12914:2012. Soil quality. Microwave-assisted extraction of the aqua regia soluble fraction for the determination of elements. (<https://www.iso.org/standard/52171.html>).
16. ISO 16729:2013. Soil quality. Digestion of nitric acid soluble fractions of elements. (<https://www.iso.org/standard/57562.html>).
17. ГОСТ ISO 6498-2014. Корма, комбикорма. Подготовка проб для испытаний.
18. ГОСТ Р 53150-2008. Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Подготовка проб методом минерализации при повышенном давлении.
19. Пробоподготовка в микроволновых печах. Теория и практика / пер. с англ. под ред. Г.М. Кингстона, Л.Б. Джесси. – М.: Мир, 1991. – 350 с.
20. ISO 6869:2000. Animal feeding stuffs – Determination of the contents of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc – Method using atomic absorption spectrometry. (<https://www.iso.org/standard/33707.html>).
21. ISO 27085:2009. Animal feeding stuffs – Determination of calcium, sodium, phosphorus, magnesium, potassium, iron, zinc, copper, manganese, cobalt, molybdenum, arsenic, lead and cadmium by ICP-AES. (<https://www.iso.org/standard/51114.html>).
22. Литвинский В.А., Гришина Е.А., Носиков В.В., Белопухов С.Л. Использование метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой для определения содержания цинка в растениях и продукции растениеводства // Бутлеровские сообщения, 2018, Т. 54, № 4. – С. 140-148.
23. Описание типа средства измерений. Спектрометры атомно-абсорбционные модели AAS Vario 6. Приложение к свидетельству № 13710 об утверждении типа средства измерений.
24. Описание типа средства измерений. Спектрометры эмиссионные с индуктивно-связанной плазмой серии iCAP 6000 (iCAP 6200 Duo, iCAP 6300 Radial, iCAP 6300 Duo, iCAP 6500 Radial, iCAP 6500 Duo). Приложение к свидетельству № 42358 об утверждении типа средства измерений.

ПАМЯТИ УЧЕНОГО



12 октября 2018 г. на 85 году ушел из жизни один из создателей агрохимической службы и науки, доктор сельскохозяйственных наук, замечательный человек, настоящий друг редакции журнала «Агрохимический вестник», член редколлегии на протяжении более 40 лет **Петр Дмитриевич Попов**.

В 1954 г., закончив Майкопский сельхозтехникум, П.Д. Попов по комсомольской путевке участвовал в освоении целины в Казахстане. В 1964 г. после окончания Ростовского госуниверситета он работал почвоведом-агрохимиком на Алтае, затем научным сотрудником КубНИИТИМ, руководил Гулькевичской зональной агрохимлабораторией. По результатам научных исследований черноземов Кубани защитил кандидатскую диссертацию. В 1972 г. П.Д. Попов переведен в Москву на должность начальника Управления агрохимической службы – заместителя начальника Главного управления химизации МСХ РСФСР. В 1981 г. – директор-организатор ВНИПТИОУ во Владимирской области, в 1989 г. – первый заместитель, а затем руководитель ВНПО «Союзсельхозхимия». В 1996 г. – замдиректора по науке ВНИПТИХИМ в Немчиновке, где защитил

докторскую диссертацию по воспроизводству плодородия почв за счет эффективных технологий производства и применения органических удобрений. В 1997 г. – директор ВНИПТИХИМ, член бюро отделения земледелия РАСХН, с 2014 по 2017 г. – ведущий научный сотрудник ВНИИ органических удобрений и торфа. П.Д. Попов, автор свыше 200 работ в области агрохимии, почвоведения, земледелия и художественно-литературных трудов, член Союза журналистов России, с 2014 г. – полковник Казачьих войск, имеет правительственные и профессиональные награды.

Память о Петре Дмитриевиче останется в сердцах многих его коллег и друзей.

*Коллектив редакции и редколлегии журнала «Агрохимический вестник»
выражают глубокие соболезнования семье П.Д. Попова.*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЧЕРНОЗЕМОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ И ДОНСКОЙ РАВНИНЫ

И.М. Яшин, д.б.н., С.Р. Рамазанов

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com

Представлена экологическая оценка некоторых подтипов черноземов Среднего Поволжья (на примере ландшафтов ОАО «Учхоз «Муммовское» Саратовской области) и полевых агроландшафтов ВНИИ сахарной свеклы Воронежской области в пределах водораздела рек Воронеж и Дон. Выявлены факторы, обуславливающие эволюцию черноземов на плакорах и надпойменных речных террасах Саратовской области: аридизация климата, засухи, пожары, образование «плужной подошвы» в пахотных горизонтах, использование «чистых» паров в севооборотах, вызывающих перегрев верхних горизонтов почв и восходящую миграцию водорастворимых солей и, как следствие, более быстрое осолонцевание (и осолодение) – деградация черноземов.

Ключевые слова: черноземы типичные, обыкновенные и выщелоченные, агроландшафты, долины рек Большой Колышлей, Дон и Воронеж, почвообразующие породы, эволюция черноземов, дегумификация черноземов.

COMPARATIVE ESTIMATION OF CHERNOZEM SOILS AT MIDDLE VOLGA REGIONS AND DON RIVER VALLEY

Dr.Sci. I.M. Yashin, S.R. Ramazanov

Russian Timiryazev State Agrarian University (RSAU-MTAA), e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com

The ecological assessment of some subtypes of the Middle Volga chernozem (for example, landscapes of JSC «Uchkhoz «Mummovskoye», Saratov region) and field agrolandscapes of the All-Russian Scientific-Research Institute of Sugar Beet in (Voronezh Region) within the watershed of the Voronezh and Don rivers is presented. The factors that determine the evolution of chernozems on plakors and above-floodplain river terraces of the Saratov region are revealed: climate aridization, droughts, fires, the formation of a «plow soles» in arable horizons, the use of «pure» fallows in crop rotations causing overheating of upper soil horizons and upward migration of water soluble salts and as a result, a more rapid alkalization (and salting) is the degradation of chernozems.

Keywords: chernozem typical, ordinary and leached, agrolandscapes, Bolshoi Kolyshley, Don and Voronezh river valleys, parent rocks, evolution of chernozems, dehumification of chernozems.

Согласно литературным данным [1-4], сравнительную экологическую оценку черноземов Среднего Поволжья и Донской равнины пока не проводили. Наши экспедиционные маршруты и стационарные наблюдения в 2015-2017 гг. выявили комплексность почвенного покрова на надпойменных террасах рек и плакорах этих лесостепных ландшафтов. Поэтому оценка состояния черноземных почв указанных лесостепных ландшафтов позволит более обоснованно использовать средства химизации, выявить экологические риски и стабилизировать плодородие почв.

Цель исследований – характеристика генетических особенностей черноземов на примере Приволжской Возвышенности и междуречья Дона и Воронежа.

Объекты и методы. Объектами исследования в ОАО «Учхоз «Муммовское» Саратовской области были подтипы черноземов (выщелоченные и обыкновенные), а также лугово-черноземные грунтово-глееватые почвы поймы реки Большой Колышлей. Среди черноземных почв изучали черноземы солонцеватые, солонцы черноземные и солонцы автоморфные. На опытном поле ВНИИ сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова (ВНИИСС) в Воронежской области были изучены черноземы типичные. Почвенный покров стационаров лесостепной зоны исследовали с помощью маршрутных наблюдений, «ключей» и закладки катен в фациях, используя для сравнения целинную степь и лес. Миграцию мобильных форм гумусовых веществ изучали с помощью метода сорбционных лизиметров [5-7].

Ключевые участки в долине реки Большой Колышлей выбирали вдоль условной линии – от русла реки (в южном направлении) через пойму, надпойменные террасы к плакору коренного берега. Среди лабораторных методов применяли хроматографию, ионометрию и спектрофотометрию. На опытном поле ВНИИСС исследовали морфологию и химические свойства чернозема типичного по профилю, а также устанавливали сорбционные лизиметры.

Результаты. При изучении черноземов учхоза «Муммовское» еще в 1953-1957 гг. специалисты кафедры почвоведения Тимирязевской академии [1] обратили внимание на наличие в некоторых их профилях почв белесых горизонтов. Но как формируются в черноземах белесые горизонты? Данный вопрос остается пока без ответа. Лизиметрические наблюдения показали, что алифатические карбоновые кислоты при водной миграции, например, в черноземе выщелоченном Тамбовской области отсутствовали [8]. По-видимому, кроме кислотного гидролиза минералов и гумуса (процесс оподзоливания) в образовании белесых песчаных горизонтов в черноземных почвах участвует и щелочной гидролиз. Не исключено влияние водорастворимых солей почвообразующих пород – Na_2SO_4 и других.

При близком залегании в черноземных почвах засоленных пород экогеохимическая ситуация складывается своеобразно [3]. Например, в лесостепных экосистемах (50-70-летние дубравы, березняки) Аткарского района Саратовской области, на плакоре коренного берега реки Большой Колышлей с 2010 г. отмечается их массовое усыхание, повреждение болезнями и вредителями. Причина подобного экологического бедствия пока не выяснена. На наш взгляд, начальная стадия гибели древостоя в условиях деградации черноземов в солонцы черноземные обусловлена восходящими потоками солей из засоленных пород (глубина их залегания варьирует от 64 до 82 см). Затем в горизонтах A_1 черноземов протекают обменные реакции: катионы Ca^{2+} замещаются на Na^+ . При щелочном гидролизе формируются гуматы и фульваты натрия (мономеры с низкими величинами молекулярных масс). Они активно участвуют в маскировании белесых горизонтов в сезон дождей и явно негативны для деревьев, поскольку поддерживают щелочную реакцию. Причем крупные корни залегают не в «плодородном» горизонте A_1 , а в иллювиальном (нижнем) палево-буром – «В₁» – на границе с засоленной породой. Здесь больше доступной влаги. В гибели древесных фаций не исключена аллелопатическая роль водорастворимых органических веществ (ВОВ), выделяемых микроорганизмами, лишайниками, а также сообществами степных трав (полынь, типчак, ковыль, душица). Они адаптированы к аридным условиям и сформировали везде травянистый покров (и плотную дернину – войлок),

в том числе и под деревьями. Листового древесного опада стало настолько мало, что мобилизуемые из него ВОВ с кислотными свойствами, почти не влияют на распространение степных трав.

В условиях аридизации климата Среднего Поволжья наблюдается очаговое опустынивание экосистем. В черноземных почвах (особенно без растительного покрова на «чистых парах») ярко проявляется восходящая миграция солей Na_2SO_4 , MgSO_4 (плёночно-капиллярное подтягивание солей вследствие гидротермического и концентрационного градиентов наряду с их биогенным накоплением в биомассе степных трав из засоленных пород). Дополнительным источником солей и щелочей в период длительных засух служат масштабные пожары. Засухи сменяются дождями. В период дождей происходит превращение оксидов Na_2O , CaO золы растений в щелочи [5, 9]. Органические кислоты и полифенолы, мобилизуемые в раствор из лесных подстилок и опада, корневых выделений, быстро нейтрализуются катионами натрия и кальция, а доступные (водорастворимые) формы органических веществ утилизируются микроорганизмами, при этом ионы Na^+ накапливаются. Не исключено, что современные почвенно-экологические условия Среднего Поволжья (на плакорах речных долин) стали благоприятными не только для осолонцевания черноземов, но и для реализации процесса солодеобразования, на что указывает хорошо развитая оторфованная дернина, белесые горизонты (следствие элювиально-глеевого процесса) и щелочная реакция среды ($\text{pH}_{\text{КСЛ}}$ 8,2-8,4).

Процесс восходящей миграции солей в черноземных почвах (фация засохших берез на плакоре) сопровождается деградацией почвенных минералов иллювиального горизонта, причем разрушается изначально не гумусовый горизонт. На наш взгляд, вторичные минералы иллювиального горизонта, поглощая катионы Na^+ при восходящей миграции солей, «защищают» некоторое время от деградации минералы и гумус горизонта A_1 . Со временем горизонт «В₁» трансформируется. На это указывает профиль почвы, расположенный в дубовой фации. Здесь иллювиальный горизонт чернозема солонцеватого пока не нарушен. С иллювиальным горизонтом контактирует слабо засоленная песчаная порода зеленовато-желтого цвета, содержащая плотный щебень опок, но эти слои влажные. После цикла деградации и выщелачивания продуктов щелочного гидролиза почвенных минералов горизонта «В₁», на их месте накапливается белесый песок – следствие процесса осолодения. Во время экспедиции летом 2018 г. в ОАО «Учхоз «Муммовское» было выявлено, что профили почв стационарных площадок до глубины 79-86 см находились в воздушно-сухом состоянии: здесь не было осадков в мае-июне 2018 г. Подобные условия благоприятны для засоления и

осолонцевания черноземных почв. Яровые культуры (пшеница, кукуруза и подсолнечник) находились в заметно угнетенном состоянии.

При рассолении черноземов в дождливые сезоны важную играют процессы водной миграции продуктов почвообразования и их поступление в грунтовые воды. В этой связи нами и проводятся лизиметрические полевые опыты с использованием специальных «колонок-ловушек» с чистыми сорбентами [3, 6, 7]. Эффективность их функционирования в почвах зависит от того, где, когда и как заложить сорбционные лизиметры? Такие исследования требуют специальной подготовки и участия коллектива сотрудников [10-12].

Результаты исследования органических соединений черноземов позволили уточнить их экологические функции. До сих пор мы рассматривали компоненты ВОВ, активно мобилизуемые в раствор из опада и лесных подстилок с участием плесневых грибов как источники биогенной кислотности [13]. Необходимо подчеркнуть роль ВОВ и гумусовых веществ в качестве одного из источников эмиссии почвенных газов. Среди газов при переувлажнении почв появляется и сероводород. Отметим своеобразную роль сероводорода в условиях оглеения почв и наличия сульфатов солей Na и K. Сероводород (H₂S) может быть и жидкостью, и газом, который ядовит и выполняет аллелопатические функции на барьерах миграции, как и компоненты ВОВ. H₂S – кислота двухосновная, но слабая. При взаимодействии данной кислоты в водном

растворе с активными формами гидрозолей гидроксида железа (II) происходит формирование труднорастворимых сульфидов железа почти черного цвета. Поэтому верхние горизонты почв (не обязательно черноземов), испытывающие временное сезонное переувлажнение, нередко окрашены в темно-серый цвет, обусловленный присутствием не только гумусовых веществ. Почвы и экосистемы служат мощными источниками газов. Газы поступают в атмосферу и из недр Земли, в частности, в нефтегазоносной провинции Саратовской области. Восходящий поток газов можно учесть путем их сорбции на активированном угле марки СКТ в сорбционных лизиметрах [6, 9, 10, 14].

При переувлажнении почв происходит эмиссия метана, этана, сероводорода, а их источником служат органические вещества. В условиях аэрации биогенная и физико-химическая трансформация ВОВ происходит в направлении формирования конечных продуктов окисления – воды, CO₂↑ и минеральных солей. Но процессы эмиссии тесно сопряжены с сорбцией газов органическими веществами почв, минералами пород и микроорганизмами, а диоксид углерода, исходя из его плотности, аккумулируется в приземном слое воздуха [14, 15]. В этой связи эмиссию газов в экосистемах нужно изучать сопряженно с процессами их сорбции (поглощения). С щелочным гидролизом гумусовых веществ связан один из феноменов черноземов – их мощный гумусовый горизонт, в частности, в выщелоченных черноземах и лугово-черноземных почвах

1. Валовое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в черноземах, мг/кг

Генетический горизонт	Глубина отбора образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Р. 15. Черноземоподобная почва; полынно-типчаковая степь у карьера¹ (Учхоз «Муммовское»)						
A ₁	5-15	0,3	4,0	9,8	4,2	11,4
AB	29-39	0,6	2,4	4,0	2,1	0,5
E (элюв.)	39-49	0,2	3,9	20,9	8,0	12,2
B _f	49-59	0,1	5,1	15,5	5,2	9,6
Р. 36я. Чернозем выщелоченный (опытное поле учхоза; подсолнечник) (Учхоз «Муммовское»)						
A _{пах.}	0-9	0,2	12,2	25,4	15,3	25,1
A ₁	15-25	0,1	10,1	23,4	14,6	22,5
AB	48-58	0,1	9,1	18,0	16,0	21,3
B _{ca}	76-86	0,2	8,9	20,8	11,1	19,5
Р. 19я. Чернозем типичный тяжелосуглинистый (ВНИИСС)						
A _{пах.}	0-13	0,1	3,4	15,3	17,1	28,3
A ₁	13-23	0,3	5,1	16,1	14,4	24,9
A ₁	28-38	0,2	7,3	17,2	16,4	25,5
A ₁	55-65	0,3	9,5	11,3	17,7	19,0
AB	80-90	0,2	11,4	18,0	9,3	31,8
B _{ca}	94-104	0,1	14,7	21,2	11,8	17,7
Зола растений, использованная на опытном поле Учхоз «Муммовское» (pH_{n2o} = 10,9)						
--	--	0,3	19,1	74,0	16,5	15,0
Засоленная порода с глубины 254 см на 1-й надпойменной террасе реки (Учхоз «Муммовское»)						
D _{sl}	254	0,2	2,5	3,4	4,5	3,8
Охристый слой Fe₂O₃		1,9	34,7	44,2	18,7	23,8
Вода из реки Б. Кольшлей		0,07	0,43	0,82	1,33	0,94

Хотя нередко мощность гумусового горизонта и гумусового профиля черноземов трактуется по глубине проникновения и массе корней растений. Процессы миграции ВОВ также нужно учитывать, как и их роль в перераспределении ионов тяжелых металлов в черноземах (табл. 1).

Радиоуглеродное датирование образцов гуминовых кислот (ГК), препаративно выделенных из образцов чернозема, показало, что их радиоуглеродный возраст увеличивался с верхних горизонтов почвы (1000 лет) вглубь – 4580 лет (Библейский возраст). Для молекул гумина (негидролизуемого остатка в составе гумуса) возраст оказался еще большим: в верхних горизонтах – 1100, а в нижних – 5070 лет. По мнению А.Е. Черкинского [17], изучавшего радиоуглеродный возраст черноземов, эти почвы сформировались очень давно, но почему-то не претерпели радикальных изменений. Профиль черноземов достаточно однородный по морфологии, свойствам, составу гумуса и не отражает динамики почвенных и геоэкологических процессов во времени. Ведь за 4-5 тыс. лет на Русской равнине происходили масштабные геоэкологические процессы, вызвавшие денудацию почв и пород, а также были сильные степные пожары, войны, происходили сукцессии растительности. По-видимому, автор охарактеризовал только временные интервалы обновления структур гуминовых кислот и не-

гидролизуемого остатка – гумина. Не были учтены масштабные геодинамические процессы.

Стационарные и лизиметрические исследования на опытном поле Института сахарной свеклы в междуречье Дона и Воронежа включали изучение генезиса черноземов, их морфологию, химические свойства и установку сорбционных лизиметров для оценки водной миграции солей и органических веществ. Лизиметрические установки пока не извлечены из почв.

В таблице 2 представлены химические свойства черноземов ОАО «Учхоз «Муммовское» (разрезы 1я, 2я, 3я) и ВНИИСС (разрез 19я). Рассмотрим морфологию чернозема типичного на участке сахарной свеклы ВНИИСС (Воронежская обл.). Координаты поля – E 39°18'40'' N 51°55'47''. Макрорельеф участка – выровненный водораздел рек Дон и Воронеж. Мезорельеф – коренной берег (плоский водораздел) долины реки Воронеж, микрорельеф – мелкие бороздки, локально трещины на поверхности почвы толщиной 1,5-1,8 см. Состояние сахарной свеклы удовлетворительное (есть заметно изреженные рядки растений в том месте, где заложен разрез), засоренность низкая, поверхность почвы уплотненная. Разрез 19я заложен 23.06.2016 г.

Химические свойства чернозема типичного свидетельствуют о его высоком потенциальном плодородии. Однако эффективное плодородие данного

2. Химические свойства черноземов ОАО «Учхоз «Муммовское» Саратовской области (15.05.2016) и ВНИИСС Воронежской области (23.06.2016)

№ разреза, угодье, местоположение	Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH ₂₀	pH ₂₀	Метод Чирикова, мг/кг		Метод Мачигина, мг/кг			С _{орг.} , %	мг-экв/100 г почвы			
					Р	K ⁺	H ₂ PO ₄ (с окислением ГС)	H ₂ PO ₄ (без окисления ГС)	K ⁺		Hg	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Лугово-черноземная легкосуглинистая грунтово-глееватая на аллювиальных отложениях (с 92 см – вода)														
1я – пастбище – (пойма реки Б. Кольшшлей)	A ₁	2-12	5,7	5,4	21	93	75	54	123	3,1	7,8	8,7	2,3	0,1
	A' ₁	12-20	6,3	6,0	33	162	141	47	189	2,5	2,8	7,4	3,8	0,1
	A'' ₁	20-30	6,5	6,1	20	219	234	34	118	1,6	2,2	33,4	7,9	0,2
	A''' ₁	60-70	6,0	5,4	23	107	212	29	144	3,7	6,5	8,8	2,9	0,1
Чернозем солонцеватый легкосуглинистый на засоленных породах с щебнем опок														
2я – опушка дубравы – (плакор)	A ₁	7-17	6,9	6,7	13	238	116	42	127	3,4-3,7	1,3	16,3	3,3	0,1
	A ₁	20-30	6,8	6,5	32	98	125	36	119	3,0-3,2	1,1	19,5	2,2	0,4
	B	45-55	7,6	7,4	11	176	241	19	136	0,4	0,4	13,8	3,9	0,3
	C _{ca,sl}	70-80	8,4	7,8	9	80	37	13	48	0,3	0,1	10,1	7,6	4,6
Лугово-черноземная легкосуглинистая грунтово-глееватая на лессовидных суглинках, подстилаемых засоленными породами														
3я – луг (низкая терраса реки Ершовка)	A ₁	5-15	6,2	6,0	89	672	114	69	144	4,7-4,9	4,8	6,6	2,5	0,1
	A' ₁	30-40	6,4	6,1	114	1024	80	14	202	2,6	3,1	7,2	2,7	0,2
	A'' ₁	55-65	8,1	8,0	240	712	311	174	343	2,7	0,5	7,3	5,4	2,4
	A''' ₁	70-80	8,1	8,0	297	602	314	183	432	2,2	0,3	4,7	7,1	3,1
	Gsl	98-108	8,4	7,9	106	358	378	87	165	0,1	0,1	3,6	7,6	5,7
Пашня – чернозем типичный тяжелосуглинистый на лессовидных карбонатно-кальциевых суглинках														
19я – пашня – (водораздел рек Дона и Воронежа)	A _{пах.}	0-12	6,4	6,2	94	474	227	107	224	4,1	3,2	7,4	3,1	0,1
	A ₁ ^{II,Л}	13-23	6,2	6,0	73	446	257	98	367	3,7	3,4	8,1	4,8	0,2
	A ₁	28-38	6,5	5,9	55	416	272	86	344	3,4	3,8	9,6	6,2	0,3
	A ₁	55-65	6,4	6,1	75	394	341	49	352	3,1	2,2	8,9	5,8	0,7

$A_{\text{пах}}$ (0-25(28) см) – пахотный горизонт: свежий, черный, крупно комковато-глыбистый, тонкопористый, слитой и очень твердый тяжелый суглинок, на срезах крупных педов «стальной блеск», указывающий на высокую плотность почвенных минералов (и, возможно, присутствие катионов кальция, магния и натрия), корней растений мало, переход по плотности постепенный. Очевидно данный горизонт при вспашке был вывернут на поверхность почвы.

A'_1 (25-40 см) – 2-й гумусово-аккумулятивный горизонт: влажный, черный, очень плотный, слитой, мелко глыбисто-крупнокомковатый, тяжелый суглинок, корней растений мало (редко мелкий детрит), переход постепенный по структуре и плотности.

A''_1 40-78(87) см – 3-й гумусово-аккумулятивный горизонт: сырой, черный со слабым буроватым оттенком, липкий, плотный, зернисто-комковатый при подсыхании, тонкопористый, редко мелкие и бурые частицы детрита, корни единичные, переход ясный по цвету.

AB – 78(87)-94 см – горизонт гумусовых затеков (он характерен для подтипа выщелоченных черноземов, однако при значительных осадках глубина горизонта скопления педогенных $CaCO_3$ под горизонтом A_1 пульсирует и в типичных черноземах): маломощный, сырой, серовато-бурый с четким палевым оттенком, плотный, пористый, крупно комковатый, средний суглинок, кротовины, мелкозем слабо вскипает от 10% HCl с 92 см, четко заметен псевдомицелий $CaCO_3$, переход ясный по цвету.

B_{ca} – 94-114 см – иллювиальный карбонатно-кальциевый барьер миграции: сырой, палевый с буроватым оттенком, очень плотный, крупно комковатый средний суглинок, обилие педогенных $CaCO_3$ в форме псевдомицелия по граням педов, бурно вскипает от 10% HCl , переход постепенный.

B/C_{ca} – 114-134 см – переходный к почвообразующей породе горизонт: сырой, светло палевый со слабым сизоватым оттенком, плотный, пористый, липкий, много псевдомицелия $CaCO_3$, от 10% раствора HCl бурно вскипает.

Почва: чернозем типичный маломощный тяжелосуглинистый на лессовидных карбонатных суглинках.

подтипа черноземов – низкое. В частности, содержание доступных форм фосфора – низкое. Без разрушения гумусовых веществ в вытяжки переходят небольшие количества анионов фосфорной кислоты. Высокое содержание карбонатов кальция негативно влияет на поглощение ионов калия растениями. Тяжелый гранулометрический состав данного подтипа чернозема обуславливает низкую пористость, слабую фильтрацию избытка атмосферных осадков, локальное переувлажнение и развитие оглеения и низкую биологическую активность. В таких черноземах часто обнаруживается «плужная подошва» с макропедрами в форме глыб, а обрабатывать такую почву очень трудно, особенно при дефиците влаги. Валовое содержание тяжелых металлов и микроэлементов не превышает значений ПДК. Только по никелю отмечено его повышенное содержание (табл. 1).

На фоне масштабной деградации черноземов Среднего Поволжья отмечается ухудшение качества поверхностных вод и их загрязнение мигрирующими соединениями железа и кальция [3]. В этой связи в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» был изучен гидрохимический состав поверхностных вод реки Большой Колышлей, отобранных 16.05.2016 г. Установлены следующие концентрации химических соединений (мг/л): водорастворимые формы комплексных соединений железа – $0,4 \pm 0,1$ (ПДК по Fe^{3+} составляет $0,3$ мг/л); NO_3^- – $0,84 \pm 0,2$; NH_4^+ – $0,47 \pm 0,1$; Ca^{2+} – 107 ± 16 ; сухой остаток – 559 ± 50 ; pH $6,9 \pm 0,2$. Показатели биологического потребления кислорода (БПК₅) и химического потребления кислорода

(ХПК), хотя в действительности – это не потребление кислорода, а окислительно-восстановительная реакция, при которой углерод органических веществ окисляется $C^0_{\text{орг.}} - 4e^- \rightarrow C^{4+}$ до диоксида углерода (CO_2), а хром «хромпика» восстанавливается – $Cr^{6+} + 3e^- \rightarrow Cr^{3+}$). Эти показатели оказались соответственно равными $8,4 \pm 1,1$ и $28,8 \pm 6,9$. БПК₅ и ХПК подтверждают слабое загрязнение вод реки органическими веществами нативного генезиса. Повышенная концентрация катионов Ca^{2+} в местном базисе эрозии (речной воде) указывает на интенсивное выщелачивание из черноземных почв этого элемента, вероятно, при десорбции кальций-ионов катионами натрия. Это косвенное подтверждение деградации черноземов – их осолонцевание и осолодение. Нами был изучен также состав верховодки в притеррасной части поймы реки и грунтовых вод лугово-черноземной грунтово-глеевой почвы. Установлены особенности данного гидрохимического профиля природных вод поймы реки Большой Колышлей в конце весны (мг/л):

- верховодка в притеррасной части поймы (на поверхности воды заметна радужная пленка): сухой остаток – 309 ± 28 ; $C_{\text{орг.}}$ – $15,8 \pm 0,8$; pH – $7,2$; Fe^{3+} – $5,5 \pm 1,4$; Ca^{2+} – $50,1 \pm 5,5$; NH_4^+ – $1,02 \pm 0,2$; БПК и ХПК соответственно – $22,0 \pm 0,9$ и $59,0 \pm 14$.

- грунтовые воды лугово-черноземной легкосуглинистой почвы с глубины 92 см: сухой остаток – 269 ± 24 ; $C_{\text{орг.}}$ – $64,7 \pm 2,4$; pH – $6,6 \pm 0,2$; Fe^{3+} – $2,4 \pm 0,6$; Ca^{2+} – $44,6 \pm 4,9$; NH_4^+ – $0,49 \pm 0,1$; NO_3^- – $0,11 \pm 0,02$; БПК и ХПК соответственно – $26,4 \pm 3,4$ и $84,8 \pm 8,5$ – это среднее загрязнение органическими веществами, причем гумусовые вещества оказались доволь-

но мобильные, окрашивая в черный цвет нижние горизонты почвы. Гуматы и фульваты натрия способствуют комплексообразованию с ионами металлов и их дальнейшей миграции.

Таким образом, при изучении морфологии, химических свойств и экологических особенностей некоторых подтипов черноземов в пределах почвенных катен и фаций ОАО «Учхоз «Муммовское» (степь, пашия, сенокос, лесополоса, опушка дубравы) в сравнении с черноземами водораздела рек Дон и Воронеж (опыт ВНИИСС) наиболее благоприятны для возделываемых культур явля-

ются выщелоченные черноземы Среднего Поволжья с повышенным содержанием доступных форм фосфатов, калия и гумуса. В обыкновенных черноземах лимитирующим экологическим фактором служит близкое залегание карбонатно-кальциевого почвенно-геохимического барьера миграции и связанное с этим низкое содержание фосфора. В лугово-черноземных почвах пойменных ландшафтов (огороды, сенокосы и пастбища) отмечено близкое залегание к поверхности грунтовых вод (0,9-1,5 м).

Работа выполнена по грантам РФФИ, Правительства и Президента Российской Федерации (2012-2017).

Литература

1. Кауричев И.С., Поддубный Н.Н. Почвы учебного хозяйства «Муммовское» и их агрономическая характеристика // Известия ТСХА, 1957, Вып. 2. – С. 141-155.
2. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. – М.: Наука. 1999. – 214 с.
3. Яшин И.М., Васенев И.И., Рамазанов С.Р. Экологическая оценка, генезис и эволюция черноземов Приволжской Возвышенности. Коллективная монография / под ред. И.М. Яшина. – М.: РГАУ-МСХА, 2017. – 158 с.
4. Усов Н.И. Почвы Саратовской области. Ч. 1 (Правобережье); 288 с.; Ч. 2 (Заволжье). ОГИЗ. Саратовское областное отделение, 1948. – 362 с.
5. Карпужин А.И., Яшин И.М., Черников В.В. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов // Известия ТСХА, 1993, Вып. 2. – С. 107-126.
6. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. – М.: МСХА, 1996. – 143 с.
7. Яшин И.М., Васенев И.И., Раскатов В.А. Методы экологических исследований. Учебное пособие. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 183 с.
8. Яшин И.М. Водорастворимые органические вещества почвы – их состав и миграция: автореф. к.б.н. – М.: ТСХА, 1974. – 17 с.
9. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. – М.: РГАУ-МСХА, 2013. – 183 с.
10. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. Учебное пособие с грифом Минсельхоза РФ. – М.: МСХА, 2000. – 560 с.
11. Яшин И.М., Васенев И.И., Прохоров И.С., Рамазанов С.Р. Экологическое состояние и эволюция черноземов Среднего Поволжья Саратовской области / Эволюция и деградация почвенного покрова: Сборник научных статей по материалам IV Международной научной конференции (Ставрополь, 13-15 октября 2015 г.). – Ставрополь: Агрус, 2015. – С. 76-84.
12. Яшин И.М., Васенев И.И., Петухова А.А., Ворников Д.В. Экологическое состояние и деградация черноземов Приволжской Возвышенности (на примере учхоза «Муммовское» Саратовской области) // Известия ТСХА, 2012, Вып. 1. – С. 41-52.
13. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
14. Яшин И.М., Гареева И.Е., И.И. Васенев, Атенбеков Р.А. Экологический мониторинг воздействия антропогенеза на поверхностные воды / под ред. И.М. Яшина. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 167 с.
15. Рачинский В.В., Пельтцер А.С., Хегай Т.А. Необратимая сорбция CO₂ неорганическими и органическими веществами // Тезисы докладов 4-й Всесоюзной научной конференции «Ионный обмен и хроматография». – Воронеж, 1976. – С. 255-256.
16. Яшин И.М. Выделение из почв мобильных групп гумусовых соединений водным раствором нейтральной соли / в Сб. Актуальные вопросы агрономического почвоведения. – М.: МСХА, 1989. – С. 48-61.
17. Черкинский А.Е. Применение радиоуглеродного метода для изучения процесса гумификации (Utilization of the radiocarbon analysis for studying humification processes) «Trans. 13 Congr. Int. Soc. Soil Sci., Hamburg, 13-20 Aug., 1986. Vol. 2». S.I.s.a. – С. 265-266 (англ).

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ (на примере Красноуральского промузла)

М.В. Шабанов, к.с.-х.н., **М.С. Маричев**

Санкт-Петербургский ГАУ, e-mail: geohim.spb@gmail.com; m.s.marichev@yandex.ru

Проведены исследования в районе действия Красноуральского медеплавильного комбината по изменению физико-химических свойств почв с выделением основных зон по степени техногенной нагрузки (фоновая, буферная, импактная). Рассмотрены компоненты, влияющие на перераспределение ионов в почвенно-поглощающем комплексе в разной отдаленности от источника техногенеза. В фоновой зоне, находящейся более чем в 8 км от комбината, преобладают природные геохимические процессы, обусловленные естественным циклом миграции и распределения элементов в почвенном профиле. В буферной зоне на расстоянии 4-8 км от факела с усилением техногенной активности кислотность увеличивается в среднем на 1,5 ед. рН. Серо-гумусовые горизонты характеризуются регрессивно-аккумуляционным типом распределения обменных катионов и уменьшением их доли в среднем на 10%, в нижней части профиля происходит переход в трансгрессионно-иллювиальный тип. В импактной зоне показатель рН уменьшается на 2,0-2,5 ед. Вследствие увеличения кислотности усиливается вынос обменных катионов кальция и магния из серо-гумусовых горизонтов в среднем на 30% и возрастает в иллювиальных на 40%. Распределение основных компонентов характеризуется в большей степени прогрессивно-элювиальными типами. Данные процессы возникают в результате разрушения минеральной части почвы вследствие высокой активности кислотных агентов, поступивших с техногенными потоками аэрозольных частиц. Нарушается общая буферность системы. Обильные потоки сульфат-ионов способствуют экстрагированию обменных катионов, сопряженных с почвенно-поглощающим комплексом, нарушая баланс элементов питания в почве.

Ключевые слова: техногенез, физико-химические свойства почв, Красноуральский ГОК, зоны техногенной нагрузки.

CHANGES OF PHYSICAL-CHEMICAL SOIL PROPERTIES UNDER TECHNOGENIC PRESSURE (for example Krasnouralskiy industrial district)

Ph.D. M.V. Shabanov, M.S. Marichev

Saint-Petersburg State Agrarian University, e-mail: geohim.spb@gmail.com; m.s.marichev@yandex.ru

The research in the area of action of the Krasnouralsky copper smelter plant on changes in the physical and chemical properties of soils with the allocation of the main zones of the degree of anthropogenic load, background, buffer, impact components are Considered, affecting the redistribution of ions in the soil-absorbing complex at different distances from the source of technogenesis. In the background zone, located more than 8 km from the plant, the natural geochemical processes due to the natural cycle of migration and distribution of elements in the soil profile prevail. At a distance of 4-8 km from the torch, in the buffer zone, with increased anthropogenic activity, acidity increases by an average of 1.5 pH. Gray-humus horizons are characterized by regressive-accumulative type of distribution of exchange cations and decrease of their share by 10% on average in the lower part of the profile, the transition to the transgression-illuvial type. In the impact zone, the pH decreases by 2-2.5 units. Due to the increase in acidity, the removal of calcium and magnesium exchange cations from the gray-humus horizons increases by 30% on average and increases in the illuvial by 40%. The distribution of the main components is characterized to a greater extent by progressive eluvial types. These processes occur as a result of the destruction of the mineral part of the soil, due to the high activity of acidic agents received from man-made streams of aerosol particles. The total buffering of the system is broken. Abundant flows of sulfate ions contribute to the extraction of metabolic cations associated with the soil-absorbing complex, disrupting the balance of nutrients in the soil.

Keywords: technogenesis, physical and chemical properties of soils, Krasnouralsky copper smelter plant, zones of technogenic pressure.

Горнорудная промышленность с металлургическим производством служит мощным источником техногенеза. Одно из таких предприятий сосредоточено в районе города Красноуральск Свердловской области. В его технологическую деятельность входит добыча и обогащение руд, выплавка черновой меди, производство серной кислоты, минеральных удобрений, медного и железного концентратов. В процессе пирометаллургической переработки сырья в атмосферу поступает значительное количество газопылевых выбросов, несущих в себе продукты возгона сопутствующих элементов. Специфика их действия на окружающие ландшафты заключается в сочетании токсического влияния поллютантов и подкислении среды. Попадая в почву, данные продукты активно изменяют ее физико-химическую характеристику. Работы по изменению кислотно-основных свойств почв в зонах горнорудной промышленности обоснованы в трудах отечественных и зарубежных ученых [1-16], все они отмечают увеличение техногенной нагрузки, рост кислотности и изменение количественных параметров катионно-анионного состава почв. Изменение описываемых процессов обуславливается наличием физико-химических барьеров, подробно изученных И.М. Яшиным и др. [13]. Исследования в районе Красноуральского промузла представлены работами И.А. Бичукиной [2], в которых проведена суммарная оценка загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами, изменение кислотности среды и концентрации сульфат-ионов. В районе импактной зоны, отмечается слабокислая реакция, с удалением от комбината увеличиваясь до нейтральной и слабощелочной. Отличительная особенность наших исследований заключается в более детальном изучении изменения физико-химических свойств почв и происходящих процессов в различных генетических горизонтах под воздействием интенсивной техногенной нагрузки.

Цель работы – определение изменения физико-химических свойств почв, подверженных в разной степени техногенной нагрузке. Для достижения поставленной цели решали следующие задачи: 1. Выделение основных зон в зависимости от степени техногенной нагрузки; 2. Определение изменения основных физико-химических показателей почв в разных зонах влияния техногенеза.

Объекты и методы исследования. Геоморфологические условия района исследования образованы грядами, закономерно чередующимися с ложбинами. Территория относится к увалистой полосе восточного склона Уральского хребта, здесь преобладают невысокие пологие холмы, абсолютные отметки высот 220,0-302,2 м [2].

Среди растительных сообществ распространены сосняки зеленомошники, сосняки долгомошники и сосняки сфагновые, на юге – сосняки травяные. В

западной и южных частях территории на месте бывших хвойных лесов большие площади занимают вторичные березняки. Травяной покров мелколиственных лесов обилен и разнообразен, что связано с высоким уровнем грунтовых вод [4].

Среднемесячная температура воздуха с декабря по февраль составляет минус 13,6°C, в летний период с июня по август 15,5°C. Среднегодовое количество осадков 574 мм с наибольшим выпадением в летний период. Роза ветров преимущественно юго-западного-западного и северо-западного-северного направлений с периодичностью от 12 до 24% [10].

В ходе работ на данной территории на одинаковых элементах рельефа была заложена серия разрезов на различном расстоянии от источника эмиссии. Данные почвы были классифицированы как дерново-слабоподзолистые тяжелосуглинистые, с разной степенью оподзоленности и мощности гумусового горизонта [12], почвообразующей породой служат делювиальные коричневатобурые супеси и суглинки с выветрелым щебнем местных пород – dllsr [6]. Всю исследуемую территорию, прилегающую к медеплавильному комбинату ОАО «Святогор» по степени техногенного воздействия, условно можно разделить на три зоны. Первая – фоновая, расположенная на расстоянии более 8 км от комбината (точки № 6, 7, 10, 15, 25). Вторая – буферная, протянувшаяся полосой в северо-западном направлении от 8 до 4 км от источника эмиссии (точки № 1, 2, 4, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 27), третья – импактная, менее 4 км от комбината, подверженная максимальной техногенной нагрузке, точки (№ 3, 5, 8, 9, 19, 23, 26).

Отбор почвенных проб проводили согласно ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005), в которых определяли pH_{H_2O} и pH_{KCl} по ГОСТ 26423-85. гумус по Тюрину; гидролитическую кислотность по Каппену (ГОСТ 26212-91); обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} по ГОСТ 26428-85; обменные H^+ и Al^{3+} по ГОСТ 26485-85; емкость катионного обмена по ГОСТ 17.4.4.01-84; гранулометрический состав почв по Качинскому.

Результаты исследований. По гранулометрическому составу исследуемые почвы тяжелосуглинистые и легкосуглинистые в верхней части профиля. Иллювиальные горизонты преимущественно легко и среднеглинистые. Практически во всех горизонтах преобладает крупнопылеватая фракция (0,005-0,01 мм), но в профиле видна четкая закономерность в распределении механических элементов верхних горизонтов, обедненных илстой фракцией по сравнению с низлежащими горизонтами. Такое распределение связано как с разрушением почвенных агрегатов, так и с процессами почвообразования.

Почвенный покров фоновой зоны в южном, восточном и северном направлениях (разрезы № 6, 7, 10), сформирован под лугово-злаковым разнотравьем в лугово-полевых провинциях. Травянистая рас-

тельность содержит большое количество зольных элементов, способствующих быстрой минерализации гумуса, в связи с чем описываемые территории имеют аккумулятивно-неполноразвитый тип гумусового профиля, со средним его содержанием. В горизонтах АУ показатель pH_{H_2O} и pH_{KCl} слабнокислый и кислый, уменьшаясь вниз по профилю в среднем на 1,1 ед. (рис. 1). Что вероятнее всего связано с миграцией фульвокислот вместе с почвенными водами. Показатель гидролитической кислотности колеблется от 2,23 до 8,35 ммоль-экв/100 г почвы с увеличением в иллювиальном горизонте. Обменные катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ и Al^{3+} , согласно Б.Г. Розанову [8], имеют элювиально-иллювиальный и равномерно-элювиальный типы распределения, что также подтверждают значения емкости катионного обмена (рис. 1), возрастание которого незначительное с глубиной от 20,0 до 44,0 ммоль-экв/100 г почвы.

Почвы фоновой территории, расположенные в юго-западном, западном и северо-западном направлениях (разрезы № 15, 25), приурочены к южной части таежно-лесной зоны со смешанным сосново-еловым типом древостоя. Из-за отсутствия обильной фитомассы травянистой растительности в данных экосистемах образованию гумусового горизонта способствует лишь лесной опад. Его разложение

протекает в условиях промывного режима и приводит к вымыванию растворимых фульвокислот, мигрирующих в почвенную толщу и за ее пределы, постепенно разрушая коллоиды в серо-гумусовом горизонте. Благодаря чему данные почвы характеризуются низким содержанием гумуса и аккумулятивно-неполноразвитый тип гумусового профиля по классификации Д.С. Орлова и Л.А. Гришиной [7].

Обменная кислотность увеличивается к низлежащим горизонтам и изменяется от слабнокислой до кислой (рис. 1б). Гидролитическая кислотность, колеблется от 3,0-4,0 ммоль-экв/100 г почвы (разрез 15) до 5,0-15,0 ммоль-экв/100 г почвы (разрез 25) (рис. 1 д).

Согласно Б.Г. Розанову [8], распределение обменных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ и Al^{3+} относятся к прогрессивно-элювиальному и аккумулятивно-элювиально-иллювиальному типам. Емкость катионного обмена увеличивается вниз по профилю в пределах 20,0-48,0 ммоль-экв/100 г почвы (рис. 1е). В лесной подстилке за счет биологической репродуктивности растений происходит накопление кальция и магния. В дальнейшем их соединения мигрируют к иллювиальным горизонтам. Из-за насыщения средней части профиля растворенными гумусовыми кислотами концентрация катионов водорода увеличивается.

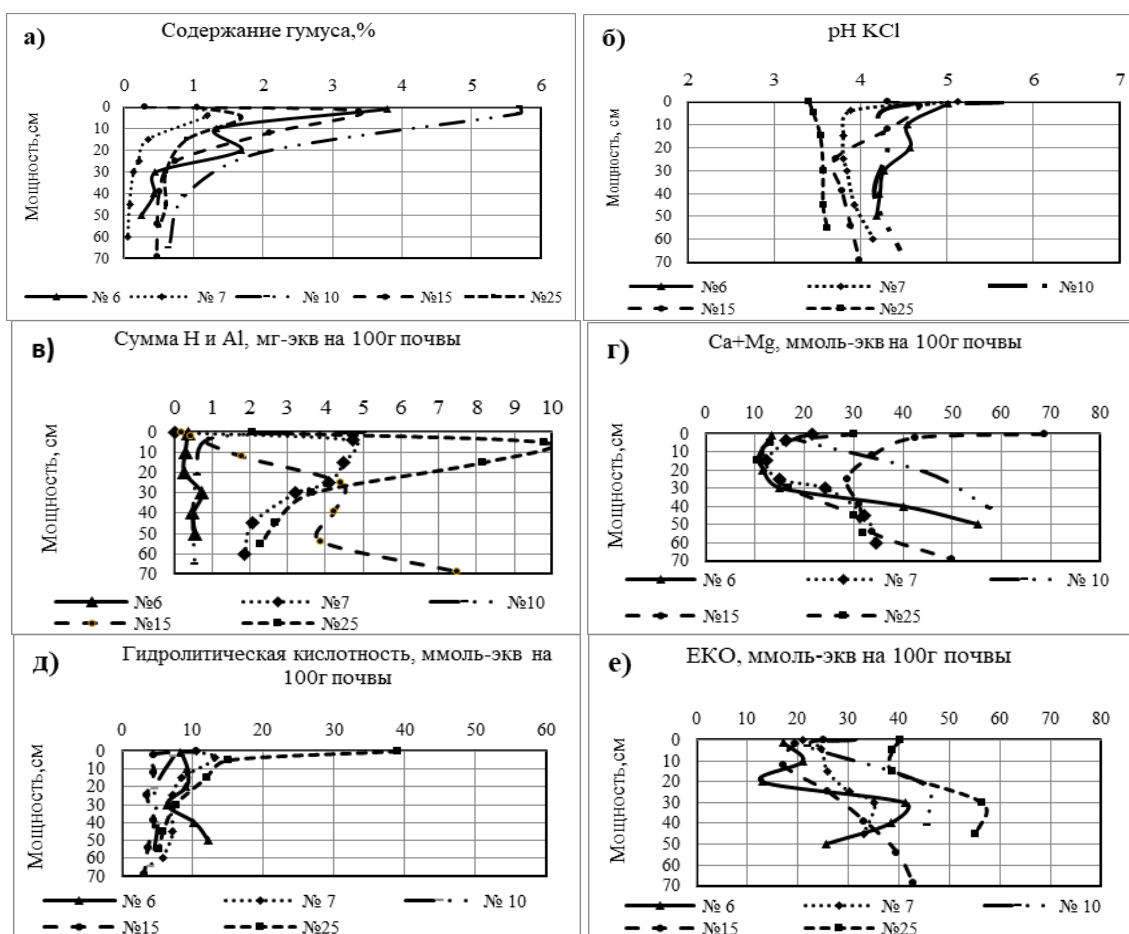


Рис. 1. Основные физико-химические показатели почв фоновой зоны

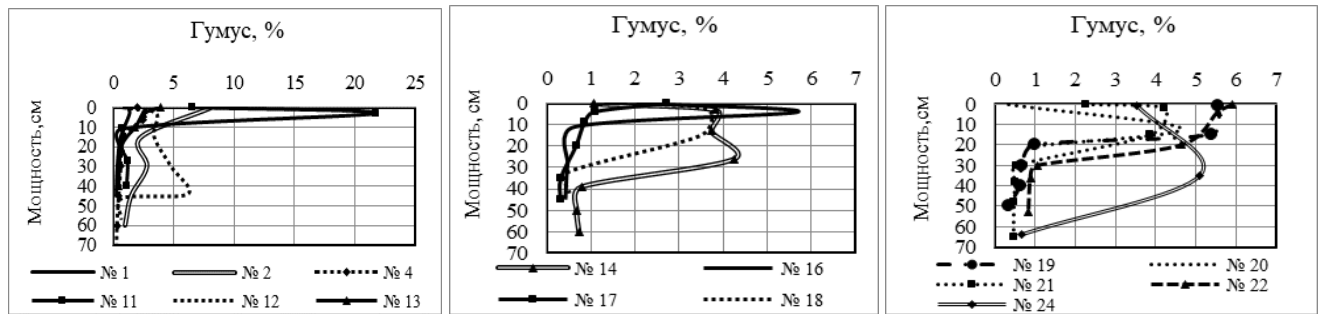


Рис. 2. Содержание гумуса в почвах буферной зоны

Данные почвы, находящиеся как в таежно-лесных, так и в лугово-полевых провинциях, имеют природный фактор почвообразования, изменение физико-химических характеристик которых обуславливается лишь за счет естественных геохимических процессов.

Буферная зона имеет вытянутое преимущественно западное направление и служит барьером на пути распространения пылегазовых выбросов комбината. На юго-западной и западной стороне в районах, приуроченных к лесным провинциям (разрез № 16), содержание гумуса среднее (рис. 2) с аккумулятивно-неполноразвитым типом гумусового профиля. В результате смены растительности на смешанную елово-березовую с примитивным травянистым покровом обменная кислотность почв уменьшается в среднем на 0,7 ед. рН, а значения гидролитической возрастает в среднем на 18%. Концентрация обменных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ и Al^{3+} имеет прогрессивно-элювиальный тип распределения.

В лугово-полевых провинциях содержание гумуса среднее (разрезы № 12, 14, 27), и низкое (разрез № 4) с аккумулятивно-неполноразвитыми гумусово-иллювиальными типами профиля (рис. 2). Уменьшение процентного содержания в сравнении

с фоновой зоной связано с ежегодным скашиванием зеленой массы, остатки которой служат основным источником гумуса. В верхней части профиля происходит подкисление в среднем на 0,6 ед. рН. Возрастает доля обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} к иллювиальным горизонтам в среднем на 10%. Содержание H^+ и Al^{3+} увеличивается в 2 раза (рис. 3). Значения емкости катионного обмена незначительно изменяются в диапазоне 20-30 ммоль-экв/100 г почвы. В результате приближения к источнику эмиссии и увеличению техногенной нагрузки отчетливо наблюдается преобладание элювиально-иллювиальных и аккумулятивно-элювиально-иллювиальных типов распределения основных компонентов почвенно-поглощающего комплекса.

Севернее комбината почвы буферной зоны (разрезы № 1, 2) расположены в лугово-полевых провинциях с обильным лугово-злаковым травяным покровом (разрез № 2). Наблюдается мощный гумусовый горизонт с высоким его содержанием до 8% (рис. 2) за счет ежегодного пополнения почвы фитомассой, подвергающейся интенсивным процессам гумификации. Кислотность уменьшается к иллювиальным горизонтам (рис. 3) в сравнении с фоновой зоной (разрез № 10) в среднем на 0,60 ед. рН.

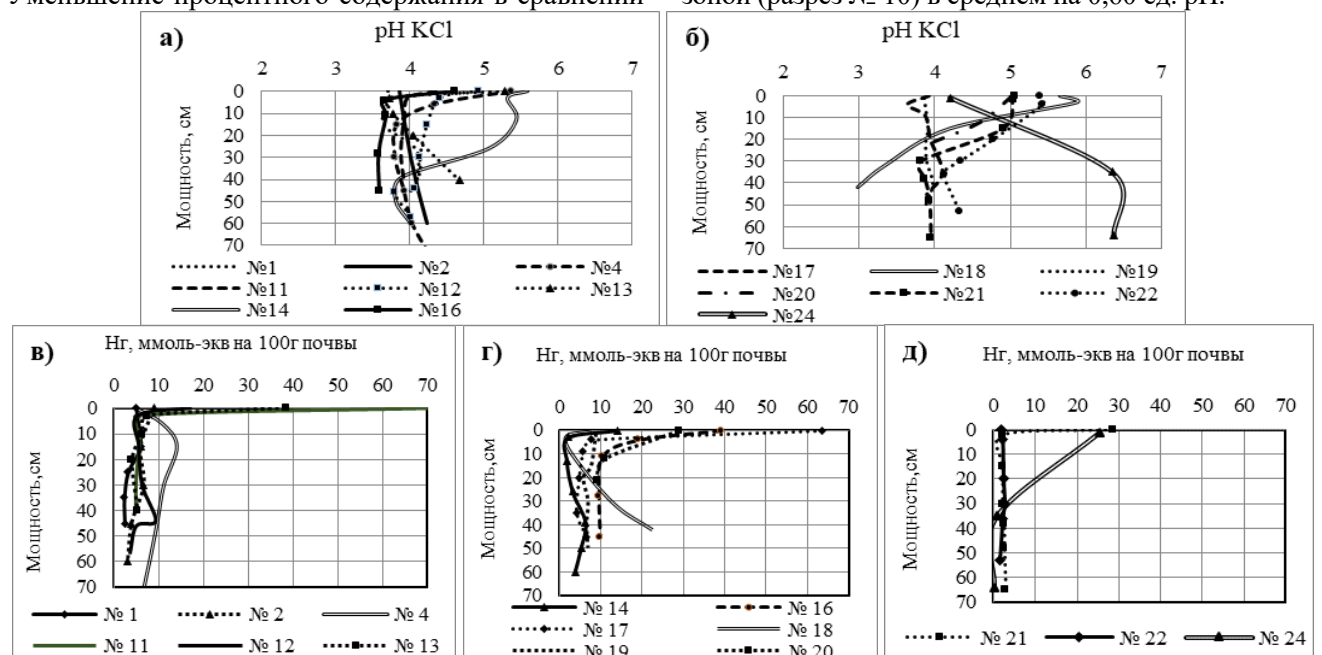


Рис. 3. Основные физико-химические показатели почв буферной зоны

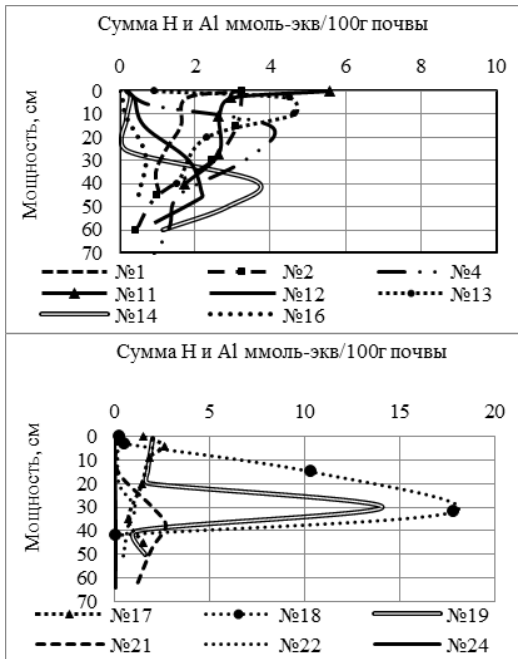


Рис. 4. Обменные катионы H^+ и Al^{3+} в почвах буферной зоны

Концентрация кальция и магния возрастает на 10%, имеет равномерно-

элювиальный тип распределения, а в районах техногенной пустыни (разрез № 24) – регрессивно-аккумулятивный с превышением на 86%, из которых на долю кальция приходится порядка 64% (рис. 5). Концентрация обменных H^+ и Al^{3+} меньше фоновых значений данного направления в среднем на 16% (рис 4). Несмотря на низкое содержание катионов, обуславливающих кислотность среды, в оторфованном серогумусовом горизонте, реакция – сильнокислая, с глубиной изменяясь до близкой к нейтральной, что свидетельствует о наличии других кислотных агентов таких, как сульфаты.

Емкость катионного обмена имеет равномерно-элювиальное распределение (разрезы № 1 и 2), а в районе техногенной пустыни (разрез № 24) – равномерно-аккумулятивное (рис. 5). За счет увеличения кислотности почв происходит вынос обменных катионов в иллювиальные горизонты.

Восточные (разрезы № 11 и 22) и южные (разрезы № 13, 17, 18) районы приурочены к лугово-полевым и лесным провинциям, средне- и слабогумусированы, с аккумулятивно-неполноразвитым типом гумусового профиля (рис. 4). Характеризуются менее кислой реакцией среды в серо-гумусовых горизонтах 5,39-5,66 ед. рН (разрезы № 22, 13, 18), что близко к фоновым показателям данных направлений (рис. 3). Противоположное распределение кислотности наблюдается в разрезах № 11 и 17, степень которой уменьшается в среднем на 1,7 ед. рН.

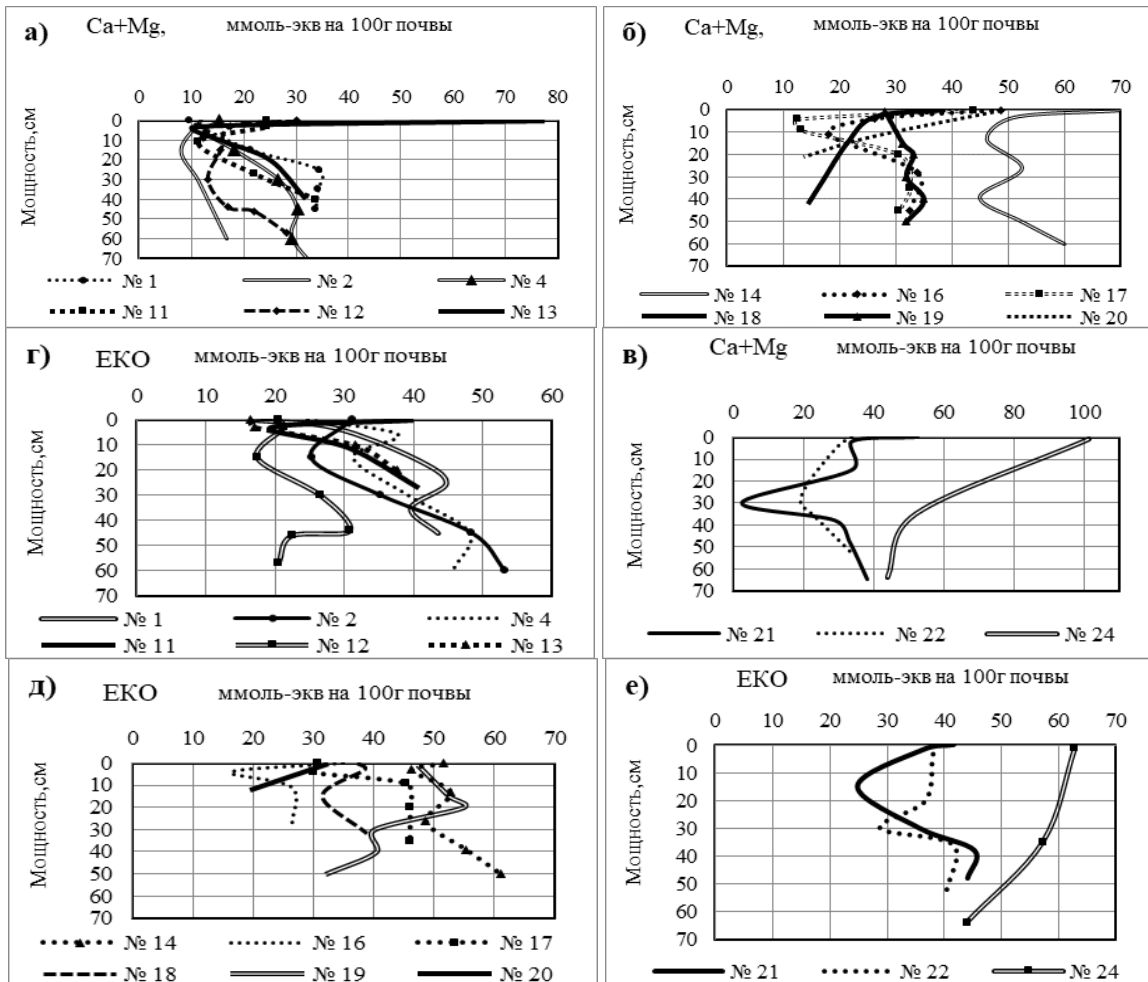


Рис. 5. Физико-химические показатели почв буферной зоны

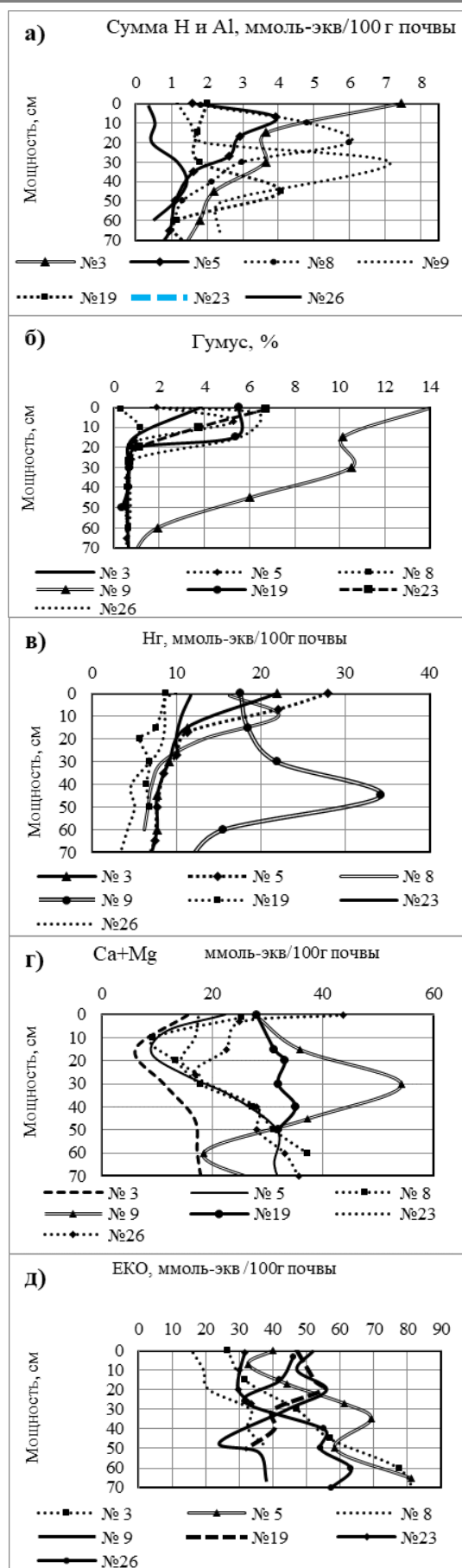


Рис. 6. Физико-химические показатели почв импактной зоны

Более низкие значения связаны с протеканием элювиальных процессов, усиливающихся за счет кислотного гидролиза минеральной части почвы и мобилизации обменных катионов. Увеличивается концентрация H^+ и Al^{3+} в среднем в 8-10 раз соответственно (рис. 4). Происходит регрессивная аккумуляция обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} в среднем на 80%. Гидролитическая кислотность недифференцированно изменяется по профилю, что схоже с фоновой зоной, за исключением южных районов (разрез № 18), где равномерно уменьшается к иллювиальным горизонтам. Емкость катионного обмена возрастает с глубиной в среднем на 20% (рис. 5).

Импактная зона характеризуется максимальной техногенной нагрузкой за счет своей близости к комбинату. Согласно климатическим данным, району присуща высокая частота повторяемости штилей [10]. Образуется частично застойный тип воздушного режима, который способствует оседанию на близлежащие ландшафты аэропромвыбросов. Севернее комбината разрезы № 3 и 23 расположены в зоне «бедствия», где растительность представлена только гипновыми мхами, с очень изреженным травянистым покровом. Содержание гумуса – среднее, что аналогично району буферной зоны с аккумулятивно-неполноразвитым типом профиля (рис. 6б). В сравнении с фоновыми показателями северной части зоны обменная кислотность возрастает в среднем на 1,6 ед., а гидролитическая в 2-3 раза (рис. 6в). Обменные катионы H^+ и Al^{3+} , в серо-гумусовых горизонтах возрастают в 3,2 раза, а в иллювиальных – порядка в 20 раз (разрез № 23). Концентрация обменных катионов кальция и магния уменьшается в среднем на 36%. Происходит перераспределение основных катионов в почвенном профиле от регрессивно-равномерно-аккумулятивного в равномерно-элювиальный тип. Образуются мобильные группы органических комплексных соединений, сопровождаемые высокой кислотностью среды, они прочно удерживают катионы Al^{3+} и мигрируют с глубиной. Емкость катионного обмена увеличивается вдвое к иллювиальным горизонтам (разрез № 3) (рис. 6д).

В южном и восточном направлениях от комбината (разрезы № 5, 8, 9, 19, 26), почвы характеризуются низким и средним содержанием гумуса и типом профиля аккумулятивно-неполноразвитым (рис. 6б). В сравнении с фоновой территорией данного направления наблюдается увеличение кислой реакции среды в среднем на 0,5-1,0 ед. рН. Гидролитическая кислотность в сравнении с фоновой зоной возрастает в среднем в 3,5 раза (рис. 6в). Происходит аккумуляция обменных H^+ и Al^{3+} с увеличением на 16-20%. Катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} уменьшаются в верхней части профиля в среднем на 20-30%. Емкость катионного обмена увеличивается вниз по профилю.

Отличия в особенностях компонентного состава и перераспределение главных ионов обуславливаются наличием кислой реакции среды, увеличивающейся за счет приноса кислотных агентов атмосферными осадками и твердофазными золями. Вследствие чего происходит частичное разрушение и мобилизация продуктов кислотного гидролиза минеральной части почвы, уменьшается емкость

катионного обмена, происходит образование легкорастворимых соединений сульфатов кальция, их вымывание и обеднение верхних горизонтов обменными катионами кальция и магния.

В результате исследований выделены три зоны: фоновая, буферная, импактная. Основные факторы, характеризующие их различия, заключаются в направлении и циркуляции атмосферных потоков относительно источника эмиссии, с приближением к которому происходит преобразование естественных фитоценозов за счет обильного техногенного потока, поступающего с аэропромвыбросами и изменяющего буферную систему почвы. В фоновой зоне, находящейся более чем в 8 км от комбината, преобладают природные геохимические процессы, обусловленные естественным циклом миграции и распределения элементов в почвенном профиле. В буферной зоне на расстоянии 4-8 км от факела, с усилением техногенной активности кислотность увеличивается в среднем на 1,5 ед. рН. Серо-гумусовые горизонты характеризуются регрессивно-аккумуляционным типом распределения обменных катионов и уменьшением их доли в

среднем на 10% в нижней части профиля, происходит переход в трансгрессионно-иллювиальный тип. В импактной зоне показатель рН уменьшается на 2,0-2,5 ед. Вследствие увеличения кислотности усиливается вынос обменных катионов кальция и магния из серо-гумусовых горизонтов в среднем на 30% и возрастает в иллювиальных на 40%, доля обменных водорода и алюминия возрастает в 3 раза. Распределение основных компонентов характеризуется в большей степени прогрессивно-элювиальными типами. Данные процессы возникают в результате разрушения минеральной части почвы, вследствие высокой активности кислотных агентов, поступивших с техногенными потоками аэрозольных частиц. Благодаря подкислению среды и постоянному приносу извне продуктов техногенной деятельности, нарушается общая буферность системы. Обильные потоки сульфат-ионов способствуют экстрагированию обменных катионов, сопряженных с почвенно-поглощающим комплексом, нарушая баланс элементов питания в почве.

Литература

1. Аминов П.Г. Биогеохимия тяжелых металлов при горнопромышленном техногенезе (на примере Карабашской геотехнической системы, Южный Урал): дисс. к.г.-м.н. – Новосибирск, 2010. – 176 с.
2. Бичукина И.А. Методические основы системы комплексного экологического мониторинга промышленной площадки медеплавильного комбината: на примере ОАО «Святогор»: дисс. к.г.-м.н. – Екатеринбург, 2008. – 159 с.
3. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Издательство Уральского университета, 1999. – 256 с.
4. Зубарева Р.С. Лесорастительные условия и типы темнохвойных лесов горной полосы Среднего Урала // Типы и динамика лесов Урала и Зауралья. Труды института биологии УФ АН СССР, Вып. 53. – Свердловск, 1967. – С. 13-87.
5. Копчик Г.Н., Копчик С.В., Венн К., Омрид Д., Странд Л., Журавлева М.А. Изменение кислотности и катионно-обменных свойств лесных почв под воздействием атмосферных кислотных выпадений // Почвоведение, 1999, № 7. – С. 873-884.
6. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, федеральное агентство по недропользованию [карты]: Государственная геологическая карта Российской Федерации третье поколение, уральская серия. Карта плиоген-четвертичных образований О – 41 (Екатеринбург) / сост. и подг. к изд. ФГУП «ВСЕГЕИ» ОАО Уральская геологосъемочная экспедиция, рекомендована к изданию НРС Роснедра 10.11.2009 – 1:1000000, 10 км в 1 см.
7. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
8. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – 320 с.
9. Удачин В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: дисс. д.г.-м.н. – Миасс, 2012. – 352 с.
10. Шабанов М.В., Маричев М.С. Характер изменения кислотно-основных свойств почв в зоне техногенеза (на примере Красноуральского промузла) // Известия УГГУ, 2018, Вып. 1(49). – С. 55-61.
11. Шафигулина Г.Т. Геоэкологические условия процессов техногенеза Учалинской геотехнической системы: Южный Урал: дисс. к.г.-м.н. – Москва, 2008. – 254 с.
12. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
13. Яшин И.М., Васенев И.И., Черников В.А. Экогеохимия ландшафта: учеб. пособие / под ред. И.М. Яшина. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 305 с.
14. Baath E., Lundgren B., Soderstrom B. Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass // Bull. Environ. Contam. and Toxicol., 1979, Vol. 23. – P. 737-740.
15. Hetsch W., Meiwes K.-J., Ulrich B. Änderungen bodenchemischer Standortseigenschaften durch saure Niederschläge // Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst., 1980, № 140. – P. 223-230.
16. Pelisek J. Okyselování lesních půd kyselými srážkami v oblasti zdaiských vrchu na Ceskomoravské vrhové // Lesnictví, 1983, Vol. 29. – P. 673-682.

ДИНАМИКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОРБЕНТОВ

Г.Ф. Рахманова, Н.Л. Шаронова, к.б.н., И.А. Дегтярева, д.б.н., Г.Х. Нуртдинова

Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения
 ФИЦ Казанский научный центр РАН, e-mail.ru: niiaxp2@mail.ru

Проведены исследования фитотоксичности нефтяного загрязнения серой лесной почвы при применении сорбентов. Установлен ряд морфобиометрических параметров растений по степени чувствительности к нефтяному загрязнению: длина корней > биомасса корней > биомасса проростков > длина проростков. Применение сорбентов позволило эффективно снизить фитотоксическое действие нефти. Выявлен эффект фитостимуляции сорбентов в отношении длины и биомассы корней, а также проростков при среднем и сильном уровнях нефтяного загрязнения почвы с наилучшими показателями у наноструктурного бентонита.

Ключевые слова: нефть, серая лесная почва, фитотоксичность, сорбенты, наноструктурный бентонит.

DYNAMICS OF PHYTOTOXICITY OF GRAY FOREST SOIL POLLUTED BY OIL AT APPLICATION OF SORBENTS

G.F. Rakhmanova, Ph.D. N.L. Sharonova, Dr.Sci. I.A. Degtyareva, G.H. Nurtdinova

Tatar Scientific Research Institute of Agrochemistry and Soil Science, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, e-mail: niiaxp2@mail.ru

Phytotoxicity studies of oil polluted gray forest soil with sorbents have been carried out. A number of morphobiometric parameters of plants were determined according to the degree of sensitivity to oil pollution: root length > root biomass > seedlings biomass > length of sprouts. The use of sorbents allowed to effectively reducing the oil phytotoxic effect. The phytostimulation of sorbents to the length and biomass of roots and sprouts at an average and strong level of oil contamination with the best indices for nanostructured bentonite was revealed.

Keywords: oil, gray forest soil, phytotoxicity, sorbents, nanostructured bentonite.

Интенсивное развитие нефтедобычи и нефтепроизводства сопровождается увеличением масштабов и ростом объемов нефтяного загрязнения окружающей среды. Особенно интенсивному загрязнению подвержены почвенные экосистемы. Ежегодно в почву попадает 20-30 млн. т углеводородов и еще до 50-90 млн. т осаждаются из атмосферы в процессе сжигания нефтепродуктов [1]. В Российской Федерации ежегодно происходит до 20000 официально зарегистрированных аварий в процессе добычи нефти и ее транспортировки. Проблема загрязнения нефтью также актуальна для Республики Татарстан (РТ), которая является крупным производителем сельскохозяйственной продукции, при этом осуществляя интенсивную добычу и переработку углеводородного сырья [2-5]. Поэтому актуальна разработка приемов эффективного снижения токсического действия углеводородов в отношении жизнедеятельности растений. Особый интерес представляет использование новых материалов, полученных с помощью методов нанотехнологий.

Цель работы – оценка динамики фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы при

применении агроминералов и сорбентов нового поколения, созданных на их основе.

Объекты и методы исследований. Эксперименты проводили на серой лесной среднесуглинистой почве, которая характеризовалась следующими показателями: содержание органического углерода 1,62%, рН_{KCl} 6,72, гидролитическая кислотность 0,75 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований 29,8 мг-экв/100 г почвы, щелочногидролизуемый азот (по Корнфилду) 102,0 мг/кг, подвижный фосфор 136,0 мг/кг, обменный калий (по Кирсанову в модификации ЦИНАО) 116,0 мг/кг.

В качестве тест-объектов были исследованы пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) сорта Йолдыз и горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта Кабан. В качестве сорбентов использовали глауконит, фосфорит Сюндюковского и бентонит Тарн-Варского месторождения РТ в термо-механоактивированном виде, а также наноструктурный глауконит, наноструктурный фосфорит и наноструктурный бентонит. Наноструктурные сорбенты получали по методике, разработанной в Научно-исследовательском инновационно-прикладном центре «Наноматериала-

лы и нанотехнологии» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» [6]. Дозы сорбентов были установлены в соответствии с литературными данными и на основании собственных исследований [7]. Заделку сорбентов в почву проводили сразу после загрязнения однократно при тщательном перемешивании в период набивки сосудов Варбурга. Масса почвы в сосуде 5 кг. Площадь одного сосуда 0,018 м². Повторность опыта трехкратная.

Вегетационные опыты проводили по следующей схеме: 1) контроль (без загрязнения); 2) загрязнение почвы нефтью без внесения сорбентов; 3) загрязнение почвы нефтью при заделке глауконита; 4) загрязнение почвы нефтью при заделке фосфорита; 5) загрязнение почвы нефтью при заделке бентопорошка; 6) загрязнение почвы нефтью при заделке наноструктурного глауконита; 7) загрязнение почвы нефтью при заделке наноструктурного фосфорита; 8) загрязнение почвы нефтью при заделке наноструктурного бентонита. Загрязнение осуществляли девонской нефтью месторождения РТ в концентрациях 3 и 7%.

Определение влияния сорбентов в термомеханоактивированном и наноструктурном виде на фитотоксичность нефтезагрязненной почвы проводили методом элюатного биотестирования [8]. Фитотестирование основывалось на сравнении длины проростков и корней исследуемых культур, их биомассы в контрольных и опытных вариантах на 30-е и 90-е сутки после загрязнения.

Результаты исследований. Водные вытяжки из почвы, загрязненной девонской нефтью, как при средней, так и при высокой концентрации, оказывали негативное воздействие на ростовые процессы пшеницы и гороха на протяжении эксперимента. Наблюдали закономерное снижение фитопроductивности по сравнению с контрольным вариантом и усиление фитотоксичности почвенной вытяжки серой лесной почвы с увеличением дозы нефти по показателям роста и развития исследуемых культур. Более существенный фитотоксический эффект был установлен для элюата из почвы, загрязненной нефтью в концентрации 7%.

Значительное угнетение морфобиометрических показателей в нефтезагрязненных вариантах отмечено на 30 сутки исследований. Снижение длины корней растений по сравнению с контролем составило в среднем 11,0% при исследовании водной вытяжки из почвы, содержащей нефть в концентрации 3 и 15,5% – при концентрации нефти 7%. Корневая биомасса в загрязненных вариантах была ниже по сравнению с контролем соответственно на 9,1 и 14,3%. Аналогичные тенденции прослеживались по показателям длины и биомассы проростков. При исследовании водной вытяжки из почвы, загрязненной нефтью в концентрации 3%, снижение дли-

ны проростков по сравнению с контролем составило 4,1%, при концентрации нефти 7% – 9,8%. Депрессия надземной биомассы для растений составила соответственно 6,0 и 11,1%.

Установлено ослабление фитотоксического действия углеводородов нефти в отношении роста и развития растений через 90 суток. При средней степени загрязнения выявлена достаточно слабая токсичность: депрессия длины, биомассы корней и проростков находилась в диапазоне 0,3-0,9%. При высоком уровне загрязнения показатели фитотоксичности для исследуемых параметров были выражены в большей степени и находились в пределах 2,0-4,5%.

В основе устойчивости растений к углеводородному загрязнению почвы лежит целый ряд факторов, в том числе морфологическое строение семени, генетические и физиолого-биохимические особенности [9]. Между растениями пшеницы яровой и гороха посевного по комплексу исследованных параметров не было отмечено достоверных видовых отличий и они характеризовались одинаковой степенью чувствительности к действию углеводородов нефти. При заделке агроминералов в загрязненную почву через 30 суток фитотоксичность почвенных вытяжек снижалась по сравнению с нефтезагрязненными вариантами, через 90 суток в этих вариантах был установлен фитостимулирующий эффект.

При применении глауконита и фосфорита на 30 сутки выявлено токсическое действие почвенных вытяжек, однако фитотоксичность была ниже по сравнению с загрязненными вариантами. Так, снижение длины корней обоих растений по сравнению с контролем составило в среднем 9,9 и 9,3% – в случае водной вытяжки из загрязненной почвы в концентрации 3%, 14,8 и 14,2% – при концентрации нефти 7%. Показатели корневой биомассы в водной вытяжке из почвы, загрязненной нефтью в концентрации 3%, при использовании глауконита снижались по сравнению с контролем на 8,7% и при использовании фосфорита – на 8,5%. При 7% нефти депрессия была выше: 13,6% при заделке в почву глауконита и 13,7% – фосфорита.

Снижение длины проростков и их биомассы к контролю без загрязнения при применении глауконита составило 4,0 и 5,5% в элюате из почвы с 3% загрязнением, 7% – 8,9 и 10,4%; фосфорита соответственно 3,5 и 4,1%; 8,2 и 9,9%.

При заделке бентопорошка депрессия длины корней и проростков к контролю составила 9,1 и 1,3% при среднем уровне загрязнения, при высоком – 13,7 и 7,9%. Углеводородное загрязнение в исследуемых концентрациях при использовании бентопорошка снизило биомассу корней на 8,4 и 12,5%, а биомассу проростков – на 2,9 и 9,2% соответственно.

Через 90 суток внесение агроминералов оказало фитостимулирующее действие с наилучшими показателями в варианте с бентопорошком. При сред-

нем уровне загрязнения длина корней и проростков растений увеличилась на 0,8-2,4%, а их биомасса – на 0,8-2,0%. В случае высокой степени нефтяного загрязнения стимуляция длины корней и проростков составила 0,1-1,5%. Показатели биомассы растений повысились на 0,2-1,2%.

Внесение наноструктурных агроминералов оказалось эффективным способом снижения фитотоксичности. На 30 сутки при применении наноглауконита и нанофосфорита депрессия длины корней составила 8,7 и 7,9% к контролю при 3% уровне загрязнения и 12,7 и 12,9% – при 7%. Показатели корневой биомассы в случае средней концентрации нефти были ниже по сравнению с контролем на 7,5% при заделке в почву наноглауконита и на 7,0% – при применении нанофосфорита. При высокой степени нефтяного загрязнения депрессия корневой биомассы при внесении в почву наноглауконита составила 12,7%, нанофосфорита – 12,2%.

Водная вытяжка из почвы, загрязненной нефтью в концентрации 3%, с внесением наноглауконита снижала длину проростков на 0,9%, в концентрации 7% – на 6,7%. В то время как почвенная вытяжка, содержащая среднюю дозу нефти, при заделке в почву нанофосфорита на 30 сутки стимулировала длину проростков на 1,0%. При 7% загрязнении в варианте заделки нанофосфорита фитотоксический эффект сохранялся: длина проростков снижалась на 6,2% к контролю. Депрессия биомассы проростков при внесении в почву наноглауконита составила 2,3% в элюате из почвы с 3% загрязнением и 9,2% – с 7% загрязнением; при заделке нанофосфорита соответственно 2,1 и 8,7%.

Фитотоксичность водных вытяжек из загрязненных образцов почвы в наибольшей степени снижалась в вариантах с наноструктурным бентонитом. Депрессия длины корней по сравнению с контролем составила 6,0% при 3% и 9,6% при 7%. Биомасса корней в вытяжке при концентрации нефти в почве 3%, снижалась на 5,0%, при 7% – на 9,3%. Депрес-

сия биомассы проростков составила 1,2 и 6,7% соответственно.

Основным механизмом действия наноструктурных сорбентов в отношении нефти, по-видимому, служит активизация сорбции углеводородов за счет увеличения объема и площади контактной поверхности агроминералов вследствие модификации. Повышение сорбционных свойств исследуемых агроминералов обусловлено возникновением большого числа открытых связей частиц [13].

Вытяжки из почвы с внесением наноструктурного бентонита оказали фитостимулирующий эффект на длину проростков тест-культур. В случае элюата из почвы с концентрацией нефти 3% длина проростков увеличилась на 2,0%, при 7% – на 0,9%. Через 90 суток все наноструктурные агроминералы оказали стимулирующий эффект на рост и развитие растений. Стимуляция длины проростков и корней по вариантам составила 1,9-4,2% при средней степени нефтяного загрязнения и 0,3-2,6% – в случае высокой. Биомасса проростков и корней повысилась на 2,0-4,0% в вытяжке из почвы при 3% концентрации и 0,8-2,4% – при 7%. В наибольшей степени положительное действие наблюдалось в вытяжках из почвы с внесением наноструктурного бентонита.

Таким образом, использование сорбентов эффективно снижало токсический эффект при обоих уровнях загрязнения серой лесной почвы нефтью. Через 90 суток выявлен фитостимулирующий эффект применения сорбентов в нативном и наноструктурном виде при обоих уровнях загрязнения серой лесной почвы девонской нефтью в отношении длины и биомассы корней и проростков с наилучшими показателями у наноструктурного бентонита. По степени чувствительности к нефтяному загрязнению морфобиологические параметры растений пшеницы и гороха расположились следующим образом: длина корней – биомасса корней – биомасса проростков – длина проростков.

Литература

1. Ершов Б.А., Звягина Л.Н. Тенденции и масштабы загрязнения нефтью окружающей среды в России на современном этапе // Глобальный научный потенциал, 2015, № 1(46). – С. 89-92.
2. Рахманова Г.Ф. и др. Использование сорбентов в рекультивации нефтезагрязненной почвы при выращивании *Vicia sativa* L. // Достижения науки и техники АПК, 2017, № 7. – С. 59-62.
3. Sharonova N.L., Breus I.P. Tolerance of cultivated and wild plants of different taxonomy to soil contamination by kerosene // Sci. Total Environ., 2012, V. 424. – P. 121-129.
4. Киреева Н.А., Кузяхметов Г.Г., Мифтахова А.М., Водопьянов В.В. Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв. – Уфа: Гилем, 2003. – 266 с.
5. Гилязов М.Ю., Яппаров А.Х., Гайсин И.А. Нефтезагрязненные почвы Республики Татарстан и приемы их рекультивации. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 244 с.
6. Ежков В.О. и др. Наноструктурные минералы: получение, химический и минеральный составы, структура и физико-химические свойства // Вестник Казанского технологического университета, 2014, Т. 17, № 11. – С. 41-45.
7. Исследования в области нанобиотехнологий в сельском хозяйстве и международное сотрудничество с Социалистической Республикой Вьетнам / под общ. ред. А.Х. Яппарова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 320 с.
8. Селивановская С.Ю., Галицкая П.Ю., Ахметзянова Л.Г., Курынцева П.А. Теория и методы экологического нормирования. – Казань: Казанский ун-т, 2014. – 38 с.
9. Кольцова Т.Г., Сунгатуллина Л.М., Григорьян Б.Р. Оценка фитотоксичности черноземных почв в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Казанского технологического университета, 2015, Т. 18, № 1. – С. 376-382.

НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯХ САХАРНОГО СОРГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АЗОТНОЙ ПОДКОРМКИ НА РАЗЛИЧНЫХ ФОНАХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ ПОДВИЖНЫМ ФОСФОРОМ

¹Н.К. Нокербекова, к.с.-х.н., ²Е.Т. Сулейменов, к.с.-х.н., ³Р.К. Жапаев, к.с.-х.н.

¹Казахский национальный аграрный университет, e-mail: nnazik@mail.ru

²Казахский НИИ земледелия и растениеводства, e-mail: et_suleim@mail.ru

³СИММИТ, международный центр улучшения пшеницы и кукурузы, e-mail: r.zhapayev@cgiar.org

Показано влияние удобрений на накопление элементов питания в растениях сахарного сорго на ранних и поздних стадиях роста и развития сортов Казахстанское 16 и Казахстанское 20 на орошаемых светло-каштановых почвах юго-востока Казахстана. Установлено, что содержание азота в растениях сахарного сорго зависело не только от условий питания, но и от биологических особенностей растений и обеспеченности почв подвижным фосфором, при этом у сорта Казахстанское 20 азота содержалось больше в фазе кущения при средней обеспеченности почвы подвижным фосфором – 2,05-2,20%, а при повышенной обеспеченности у сорта Казахстанское 16 – 2,23-2,31%. Содержание азота при уборке было выше в зерне и зависело от уровня обеспеченности почв подвижным фосфором. На фоне повышенной обеспеченности содержание азота составило 2,71 и 2,80%, средней – 2,56 и 2,65% соответственно по сортам Казахстанское 16 и Казахстанское 20. Действие подкормок азотом находилось в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором. При уровне средней обеспеченности прибавки урожая зерна от доз азотных удобрений у сортов сахарного сорго составили 8,1-12,2 ц/га, а при повышенной обеспеченности – 4,7-8,9 ц/га.

Ключевые слова: сахарное сорго, сорт, фон, азотные удобрения, элементы питания, урожайность.

FERTILIZER ELEMENTS ACCUMULATION IN SWEET SORGHUM PLANTS, DEPENDING ON THE FEEDING OF NITROGEN FERTILIZERS ON VARIOUS GROUNDS MOBILE PHOSPHORUS SUPPLY OF SOILS

¹Ph.D. N.K. Nokerbekova, ²Ph.D. Ye.T. Suleimenov, ³Ph.D. R.K. Zhapayev

¹Kazakh National Agrarian University, e-mail: nnazik@mail.ru

²Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant growing, e-mail: et_suleim@mail.ru

³International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT, e-mail: r.zhapayev@cgiar.org

Three-year results of studies on the effect of fertilizers on the nutrients accumulation in sweet sorghum plants in the early and late stages of growth and development of sweet sorghum of Kazakhstanskoe 16 and Kazakhstanskoe 20 varieties on irrigated light chestnut soils of the southeast Kazakhstan are presented. The results of the research showed that the content of nutrients in sweet sorghum plants due to the fertilization with nitrogen fertilizers has changed significantly. The tendency of changes in the content of nutrients was preserved on both grounds of soil availability by mobile phosphorus and on varieties of sweet sorghum. The accumulation of nitrogen by sweet sorghum plants depended not only on nutritional conditions, but also on the biological characteristics of plants and the availability of soils with mobile phosphorus, while in Kazakhstanskoe 20 variety contained more nitrogen in the tillering phase with an average availability of 2.05-2.20%, and with increased availability in Kazakhstanskoe 16 – 2.23-2.31%. The content of nitrogen in harvesting was higher in grain in sweet sorghum varieties and depended on the level of mobile phosphorus supply of soils. Against the ground of increased availability, the nitrogen content was 2.71 and 2.80%, and the average content was 2.56 and 2.65%, respectively, in Kazakhstanskoe 16 and Kazakhstanskoe 20 varieties. The effect of fertilizing with nitrogen fertilizers was dependent on the availability of soils with mobile phosphorus. At the level of average availability, the increase in grain yield from doses of nitrogen fertilizers in varieties of sweet sorghum amounted to 8.1-12.2 c/ha, and with increased availability of 4.7-8.9 c/ha.

Keywords: sweet sorghum, variety, ground, nitrogen fertilizers, nutrients, yield.

Сорго – весьма перспективная культура для заготовки высококачественного силоса в засушливых южных и юго-восточных районах Казахстана, где по урожаю зеленой массы и сбору переваримого протеина оно превосходит кукурузу. Сорго хорошо отрастает после укоса, листья и стебли растений сохраняют сочность до полной спелости зерна. Зеленая масса сахарного сорго, убранная в фазы молочно-восковой, восковой и полной спелости зерна, содержит до 14-20% сахаров и поэтому легко силосуется не только в чистом виде, но и в смеси с соломой и мякиной [1-3]. Характерной особенностью сорго является способность приостанавливать свой рост в период особо неблагоприятных условий и оставаться в анабиотическом состоянии до тех пор, пока не наступят благоприятные условия [4]. От посева до всходов в зависимости от температуры, влажности, других условий и сортовых особенностей проходит от 10 до 30 дней. Очень растянута фаза кушения, которая начинается со времени появления 6 листа и продолжается при благоприятных условиях произрастания весь вегетационный период [5]. С наступлением полной спелости в зерне продолжают физиологические и биохимические процессы, связанные с послеуборочным дозреванием [6]. Сорго выносит много питательных веществ из почвы, поэтому его нельзя считать хорошим предшественником для следующих за ним культур. Однако при возделывании сорго в смеси с однолетними бобовыми растениями, а также при внесении удобрений оно может быть неплохим предшественником. Сорго можно высевать как пожнивную культуру в занятых и кулисных парах. В этом случае оно служит дополнительным источником зеленых кормов, хорошо снижает засорение полей, предохраняет их от эрозии. Сорго положительно реагирует на улучшение агрофона и применение удобрений [7]. В процессе формирования урожая сахарное сорго поглощает из почвы в несколько раз больше питательных веществ, чем другие полевые культуры. Поглощение питательных веществ растениями сахарного сорго начинается с момента прорастания семян и появления всходов на поверхности почвы. По мере развития листового аппарата и корневой системы поступление питательных веществ усиливается, достигая наибольшей интенсивности к середине вегетации (июль, август), а затем ослабевает [7, 8]. Для раскрытия высоких потенциальных возможностей сорго необходимы мероприятия по внесению сравнительно высоких доз азота, фосфора и калия [9-12].

Цель исследований – оценить действие доз азотного удобрения на условия минерального питания сортов сорго и влияние на урожайность и качество зерна сахарного сорго на юго-востоке Казахстана.

Объекты и методика опыта. Исследования проводили в 2015-2017 гг. в полевом опыте на орошаемой светло-каштановой почве в предгорьях Заилийского Алатау при различном уровне обеспеченности почв подвижным фосфором: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,34-2,54%, щелочногидролизуемого азота (по Корнфилду) – 81,2-97,7 мг/кг и подвижного калия (по Мачигину) – 320-340 мг/кг почвы. Схема опыта включала следующие варианты: 1 – контроль (без удобрений); 2 – N₅₀ (подкормка в фазе 3-5 листьев); 3 – N₁₀₀ (подкормка N₅₀ в фазе 3-5 листьев + N₅₀ в фазе 6-8 листьев). Опыты заложены на двух фонах обеспеченности подвижным фосфором (по Мачигину): средней (30-35 мг/кг почвы) – фон 1 и повышенной (40-45 мг/кг почвы) – фон 2. Азотные удобрения вносили в виде аммиачной селитры (34% д.в.).

Объектами исследований были сорта сахарного сорго Казахстанское 16 и Казахстанское 20. Полевой опыт закладывали в четырехкратной повторности с использованием принятой для данной зоны агротехники. Сопутствующие анализы растительных образцов проводили согласно общепринятым методикам: общий азот, общий фосфор и общий калий в растениях – после мокрого озоления растительного материала из одной навески – соответственно по Къельдалю, колориметрически, на пламенном фотометре.

Статистическая обработка результатов исследований выполнена по методике Б.А. Доспехова (1985) с использованием программы Agros (версия 2.09) по С.П. Мартынову (1999).

Результаты исследований. Содержание азота в органах растений сахарного сорго в фазе кушения находилось в зависимости от внесения азотных удобрений в подкормку (табл. 1). Если содержание азота в растениях сорта Казахстанское 16 контрольного варианта на фоне 1 составило 1,74%, на фоне 2 – 1,80%, то при внесении 50 и 100 кг азотных удобрений (варианты 2 и 3) оно составило соответственно 2,03-2,12 и 2,23-2,31%, а по сорту Казахстанское 20 было несколько выше и составило соответственно 2,05-2,20 и 1,88-2,03% при содержании в контроле на фоне 1 1,93%, на фоне 2 – 1,76%.

1. Содержание элементов питания в растениях сахарного сорго в фазе кушения (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Фон 1			Фон 2		
	N	P	K	N	P	K
Казахстанское 16						
Контроль	1,74	0,42	2,05	1,80	0,53	2,08
N ₅₀	2,03	0,47	2,16	2,23	0,54	2,18
N ₁₀₀	2,12	0,49	2,35	2,31	0,60	2,35
Казахстанское 20						
Контроль	1,93	0,41	2,41	1,76	0,45	2,09
N ₅₀	2,05	0,54	2,53	1,88	0,47	2,28
N ₁₀₀	2,20	0,57	2,71	2,03	0,60	2,35

Внесение азотного удобрения повлияло на поступление фосфора в растения сортов сахарного сорго, что связано с различной обеспеченностью почв подвижным фосфором. Более высокое содержание фосфора в растениях отмечено на фоне с повышенной обеспеченностью почвы подвижным фосфором (табл. 1). Это наблюдается в растениях обоих сортов: если содержание фосфора у сорта Казахстанское 16 в контрольном варианте фона 1 составило 0,42% и на удобренных вариантах 0,47-0,49%, то на фоне 2 – оно составило соответственно 0,53% и 0,54-0,60%. Аналогичная закономерность по содержанию фосфора в растениях наблюдалась и по сорту Казахстанское 20.

Содержание калия больше зависело от внесения азотных удобрений в подкормку, чем от обеспеченности почв подвижным фосфором. Незначительное повышение содержания калия в растениях наблюдалось только в начальный период развития растений. Так, если содержание калия в контроле у сорта Казахстанское 16 составило 2,05-2,08%, то на удобренных вариантах по фону 1 оно было 2,16-2,35%, по фону 2 – 2,18-2,35% (табл. 1). Содержание калия было несколько выше у сорта Казахстанское 20, особенно по фону 1, где на вариантах 2 и 3 оно составило 2,53 и 2,71% при контроле 2,41%, а на фоне 2 эти величины были соответственно 2,28 и 2,35% при контроле 2,09%.

Содержание азота в листьях у растений сахарного сорго зависело от внесения азотного удобрения в подкормку (табл. 2). Если содержание азота в листьях растений сорта Казахстанское 16 в контроле (фон 1) составило 1,91 и на повышенном (фон 2) – 2,02%, то при внесении N₅₀ и N₁₀₀ в подкормку (вар. 2 и 3) оно составило соответственно 2,12 и 2,16%, 2,58 и 2,34%. При этом относительное превышение от меньшей дозы было 0,14-0,21%, а от большей – 0,32-0,67%. По сорту Казахстанское 20 оно было несколько выше и составило 2,79 и 3,05% при внесении N₅₀ – 2,92 и 3,21% при внесении N₁₀₀ соответственно при содержании в контроле 2,55% на фоне 1 и 2,52% – на фоне 2. Абсолютное превышение содержания азота над контролем составило 9,4-14,5% по фону 1 и 21,0-27,4% по фону 2.

В стеблях растений сахарного сорго в период уборки в содержании азота в растениях наблюдалась аналогичная тенденция, то есть оно зависело от доз внесенных азотных удобрений в подкормку. Содержание азота повышалось у сорта Казахстанское 16 от 0,91% в контроле до 1,04 и 1,15% соответственно на вариантах с внесением N₅₀ и N₁₀₀ по среднему фону и соответственно от 0,68 до 0,84 и 0,99% – по повышенному фону. По сорту Казахстанское 20 оно было несколько выше и составило соответственно 0,83-1,14 на варианте N₅₀ и 0,98-1,26% на варианте N₁₀₀ при содержании в контроле 0,63% по фону 1 и 1,03% по фону 2. При этом более высокое содержание азота

2. Содержание азота в органах растений у сортов сахарного сорго в фазе полной спелости (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Казахстанское 16				Казахстанское 20			
	листья		стебли		листья		стебли	
	Фон							
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	1,91	2,02	0,91	0,68	2,55	2,52	0,63	1,03
N ₅₀	2,12	2,16	1,04	0,84	2,79	3,05	0,83	1,14
N ₁₀₀	2,58	2,34	1,15	0,99	2,92	3,21	0,98	1,26

3. Содержание фосфора в органах растений у сортов сахарного сорго в фазе полной спелости (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Казахстанское 16				Казахстанское 20			
	листья		стебли		листья		стебли	
	Фон							
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	0,25	0,31	0,19	0,25	0,24	0,31	0,17	0,22
N ₅₀	0,28	0,40	0,27	0,30	0,33	0,39	0,27	0,34
N ₁₀₀	0,41	0,58	0,32	0,36	0,38	0,43	0,34	0,40

4. Содержание калия в органах растений у сортов сахарного сорго в фазе полной спелости (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Казахстанское 16				Казахстанское 20			
	листья		стебли		листья		стебли	
	Фон							
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	0,27	0,33	0,70	0,80	0,29	0,41	0,83	0,58
N ₅₀	0,50	0,62	0,87	0,96	0,42	0,48	1,25	0,90
N ₁₀₀	0,59	0,75	1,00	1,06	0,63	0,49	1,38	1,05

на среднем фоне отмечено у сорта Казахстанское 16 по сравнению с сортом Казахстанское 20, а на повышенном фоне, наоборот, было выше у сорта Казахстанское 20 по сравнению с сортом Казахстанское 16, что доказывает о различии биологических особенностей органов растений сахарного сорго в потреблении элементов питания.

В листьях растений сахарного сорго более высокое содержание фосфора отмечено на фоне с повышенной обеспеченностью почвы подвижным фосфором (табл. 3). Это наблюдается в растениях обоих сортов: если содержание фосфора у сорта Казахстанское 16 в контроле фона 1 составило 0,25% и на удобренных вариантах 0,28-0,41%, то на фоне 2 – оно составило соответственно 0,31% и 0,40-0,58%. По сорту Казахстанское 20 содержание фосфора в контроле фона 1 составило 0,24% и на удобренных вариантах 0,33-0,38%, то на фоне 2 – оно составило 0,17% и 0,39-0,43% соответственно.

В стеблях растений сахарного сорго при уборке содержание фосфора у сорта Казахстанское 16 в контроле фона 1 составило 0,19%, на удобренных вариантах N₅₀ и N₁₀₀ было соответственно 0,25 и 0,32%, а на фоне 2 – оно было несколько больше и составило соответственно 0,22% на варианте без

удобрений, на удобренных вариантах – 0,30% и 0,36% (табл. 3). Подобная закономерность была заметна и по сорту Казахстанское 20, где содержание фосфора было выше на более обеспеченном фоне почв подвижным фосфором на 29,4% в контроле и на 25,9% по N₅₀ и на 17,6% по N₁₀₀.

Содержание калия в некоторой степени зависело от внесения азотных удобрений в подкормку и от обеспеченности почв подвижным фосфором. Так, если содержание калия в контроле у сорта Казахстанское 16 составило 0,27-0,29%, то на удобренных вариантах по фону 1 оно было 0,50-0,59% и по фону 2 – 0,62-0,75% (табл. 4). Содержание калия не было выше у сорта Казахстанское 20, особенно по фону 1, где на вариантах 2 и 3 оно составило 0,42 и 0,63% при контроле 0,29%, а на фоне 2 эти величины были соответственно 0,48 и 0,49%.

В стеблях растений сахарного сорго содержание калия в контроле у сорта Казахстанское 16 составило 0,70-0,80%, то на удобренных вариантах по фону 1 оно было 0,87-1,00% и по фону 2 – 0,96-1,06% (табл. 4). Содержание калия было выше у сорта Казахстанское 20, особенно по фону 1, где на вариантах 2 и 3 оно составило 1,25 и 1,38% при контроле 0,83%, а на фоне 2 эти величины были соответственно 0,90 и 1,05% при контроле 0,58%.

Закономерное повышение содержания азота в зерне в зависимости от увеличения норм азотных удобрений в подкормку наблюдалось в растениях по сортам сахарного сорго в период уборки (рис. 1).

Если содержание азота в зерне растений сорта Казахстанское 16 в контроле составило 2,22% на среднем фоне и 2,01% – на повышенном, то в вариантах 2 и 3 оно составило соответственно 2,37 и 2,37, 2,56 и 2,71% при внесении N₅₀ и N₁₀₀, а по сорту Казахстанское 20 оно было несколько выше и составило соответственно 2,39 и 2,44, 2,65 и 2,80% при содержании в контроле 1,67% на фоне 1 и 2,14% на фоне 2.

В зерне сахарного сорго содержание фосфора у сорта Казахстанское 16 в контроле фона 1 составило 0,26%, на удобренных вариантах 0,42-0,65%, то на фоне 2 – оно составило соответственно 0,33% и 0,58-0,69% (рис. 1). Аналогичная закономерность наблюдалась и по сорту Казахстанское 20 (рис. 2).

В зерне сахарного сорго содержание калия в контроле у сорта Казахстанское 16 составило 0,55-0,76%, на удобренных вариантах по фону 1 оно было 0,74-0,95% и по фону 2 – 0,90-1,00% (рис. 1). Содержание калия было выше у сорта Казахстанское 20, особенно по фону 1, где на вариантах 2 и 3 составило 0,67 и 0,79% при контроле 0,58%, а на фоне 2 эти величины были соответственно 0,65 и 0,80% при контроле 0,46% (рис. 2).

Изменение условий минерального питания отразилось на урожайности зерна сахарного сорго. Эффективность азотных удобрений по фонам была существенной. Так, если в среднем за три года урожайность зерна сахарного сорго сорта Казахстанское 16 в контроле по фону 1 и 2 составила соответственно 24,9 и 27,9 ц/га, то при внесении аммиачной селитры в подкормку в дозе N₅₀ в фазе 3-5 листьев урожайность повысилась до 31,2-35,4 ц/га, а при дробном внесении в подкормку (N₅₀ + N₅₀) – до 35,2-39,3 ц/га (табл. 5).

На фоне с повышенной обеспеченностью почв по сравнению со средней обеспеченностью почв в среднем за три года урожайность была несколько выше как на контрольном, так и на удобренных вариантах 2 и 3. Прибавка урожая составила соответственно 3,0; 4,2 и 4,1 ц/га или 12,0; 13,5 и 11,6%.

Отзывчивость сорта сахарного сорго Казахстанское 20 на обеспеченность почв подвижным фосфором и на подкормку азотными удобрениями была выше, чем у сорта Казахстанское 16. В среднем за три года урожайность в контроле по фонам 1 и 2 составила соответственно 30,9 и 36,4 ц/га. Внесение азотных удобрений в дозах N₅₀ и N₁₀₀ повысило

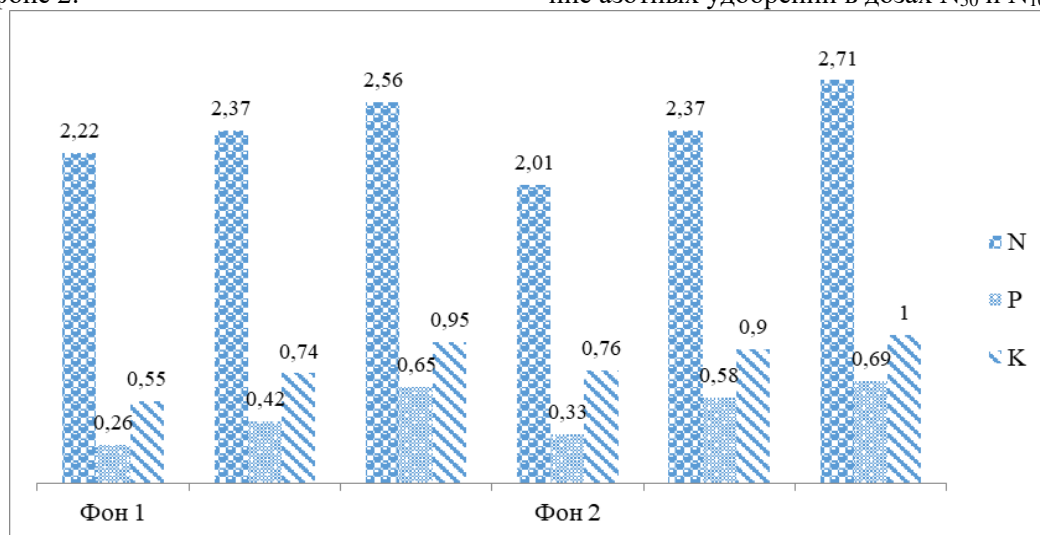


Рис. 1. Содержание NPK в зерне сахарного сорго в фазе полной спелости, сорт Казахстанское 16, среднее за 2015-2017 гг.

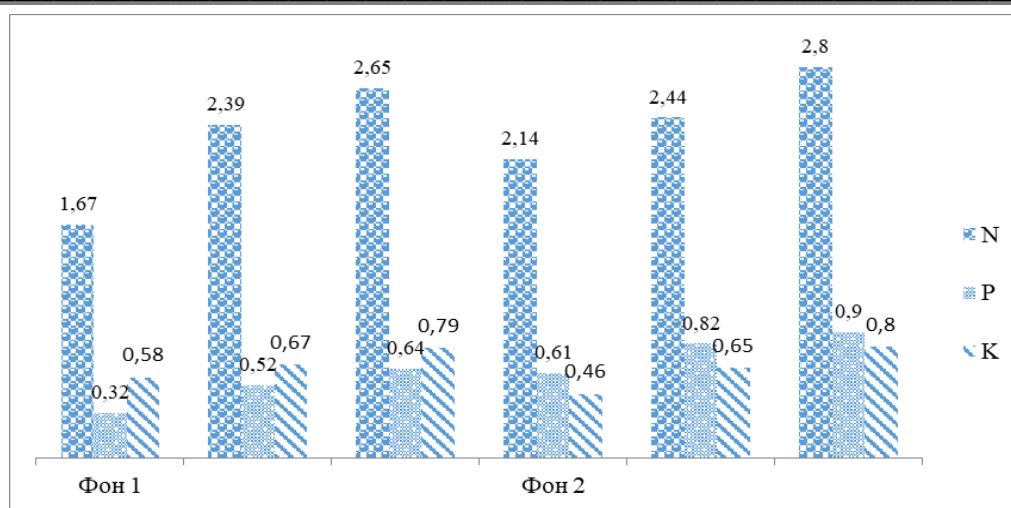


Рис. 2. Содержание NPK в зерне сахарного сорго в фазе полной спелости, сорт Казахстанское 20, среднее за 2015-2017 гг.

5. Влияние азотных удобрений на урожайность зерна сортов сахарного сорго (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка урожая		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	средняя	ц/га	%	
Казахстанское 16							
Фон 1	Контроль	27,2	22,2	25,3	24,9	-	-
	N ₅₀	35,0	26,5	32,2	31,2	6,3	25,3
	N ₁₀₀	38,8	31,8	35,1	35,2	10,3	41,4
	НСР, ц/га	3,2	2,0	2,4			
Фон 2	Контроль	27,8	28,4	27,7	27,9	-	-
	N ₅₀	35,4	35,9	35,1	35,4	7,5	26,9
	N ₁₀₀	40,2	39,2	38,6	39,3	11,4	40,9
	НСР, ц/га	2,5	1,7	2,6			
Казахстанское 20							
Фон 1	Контроль	28,5	34,2	30,1	30,9	-	-
	N ₅₀	37,8	40,5	38,6	39,0	8,1	26,2
	N ₁₀₀	39,8	46,9	42,5	43,1	12,2	39,5
	НСР, ц/га	3,0	3,5	3,2			
Фон 2	Контроль	30,2	43,3	35,6	36,4	-	-
	N ₅₀	38,0	45,5	39,9	41,1	4,7	12,9
	N ₁₀₀	43,4	47,6	44,8	45,3	8,9	24,4
	НСР, ц/га	5,9	2,3	3,3			

урожай зерна по фону 1 до 39,0 и 43,1 ц/га, а по фону 2 – до 41,1 и 45,3 ц/га соответственно. Прибавка составила от 26,2 до 39,5% по фону 1 и от 12,9 до 24,4% по фону 2. При этом урожайность на фоне с повышенной обеспеченностью по сравнению со средней была выше по всем вариантам опыта и составила соответственно 5,5; 2,1 и 2,2 ц/га.

Математическая обработка между содержанием азота в зерне и листьях в фазе полной спелости и урожайностью зерна показала тесную коррелятивную связь. Так, коэффициент корреляции между содержанием азота в зерне и урожайностью по сортам Казахстанское 16 и Казахстанское 20 составил 0,855 и 0,995, а между содержанием азота в листьях и урожайностью соответственно 0,779 и 0,885.

Таким образом, содержание элементов питания в органах сахарного сорго в связи с подкормкой азотными удобрениями на ранних стадиях роста и развития существенно изменялось. При этом наблюдалась тенденция изменения содержания питательных элементов на обоих фонах обеспеченности почв подвижным фосфором в зависимости от биологических особенностей сортов сахарного сорго. Влияние подкормки азотным удобрением на урожайность зерна по фонам обеспеченности почв было существенным. Урожайность зерна сорго повысилась по сорту Казахстанское 16 на 25,3-41,4% на фоне 1 и на 26,9-40,9% на фоне 2 и по сорту Казахстанское 20 – на 26,2-39,5% и 12,9-24,4% соответственно. При этом наибольший (45,3 ц/га) урожай был получен на варианте с внесением N₁₀₀ у сорта Казахстанское 20.

Литература

1. Baker R.F., Leach K.A., Braun D.M. SWEET as sugar: new sucrose effluxers in plants // Mol. Plant., 2012, № 5. – P. 766-768.
2. Jacob A.A., Fidelis A.E., Saladeen K.O., Queen K.R. Sorghum: Most under-utilized grain of the semi-arid Africa // Schol. J. Ag. Sci., 2013, № 3. – P. 147-153.
3. Calviño M., Messing J. Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops // Curr. Opin. Biotech., 2012, № 23. – P. 323-329.
4. Шепель Н.А. Рекомендации по возделыванию сорго на Кубани. – Краснодар: Кн. изд-во, 1975. – 24 с.
5. Малиновский Б.Н. Сорго на Северном Кавказе. – Ростов на Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1992. – 202 с.
6. Исаков Я.И. Сорго. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 134 с.
7. Алабушев А.В. Уникальные возможности сорго // Земледелие, 2000, № 3. – С. 19.
8. Щербаков В.Я. Зерновое сорго. – Киев-Одесса: Вища школа, 1983. – 192 с.
9. Физиолого-биохимические основы питания растений / под ред. П.А. Власюк. – Киев: Наукова думка, 1968. – 230 с.
10. Определение потребности растений в удобрениях: научное издание / под ред. проф. З.И. Журбицкого. – М.: Колос, 1971. – 256 с.
11. Пчелкин П.У. Почвенный калий и калийные удобрения. – М.: Колос, 1973. – 143 с.
12. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений. – М.: Наука, 1966. – 296 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ АГРОХИМИКАТОВ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ РОСТОМ И РАЗВИТИЕМ РАСТЕНИЙ

¹А.А. Комаров, ²А.А. Комаров, д.с.-х.н.

¹Ленинградский НИИСХ «Белогорка», e-mail: kommon@mail.ru

²Агрофизический институт, e-mail: Zelenydar@mail.ru

Рассмотрено использование комплексных агро-адаптогенов серии КАА, предназначенных для коррекции роста и развития растений. Эти композиты отличаются от всех предыдущих комплексных удобрений тем, что их состав определяется не совмещением различных элементов питания, а многокомпонентностью различных функциональных средств. При действии удобрений на растения наблюдается синергетический эффект, который обеспечивается новым качеством, свойственным экосистемной эмерджентности. Подобные удобрения могут найти применение в системе точного земледелия.

Ключевые слова: комплексные агро-адаптогены, коррекция роста и развития растений, критические фазы онтогенеза, точное земледелие.

PROSPECTS OF THE USE OF COMPLEX AGROCHEMICALS FOR DIFFERENTIATED ITS INTRODUCTION AS A MEANS OF GROWTH MANAGEMENT AND PLANT DEVELOPMENT

¹A.A. Komarov, ²Dr.Sci. A.A. Komarov

¹Leningrad Scientific-Research Institute for Agroculture «Belogorka», e-mail: kommon@mail.ru

²Agrophysical Scientific-Research Institute, e-mail: Zelenydar@mail.ru

The use of complex agro-adaptogens of the KAA series, intended for correction of growth and plant development, is considered. These fertilizers differed from all previous complex fertilizers in that their composition was determined by a multicomponent composition of various functional agents. With the action of fertilizers on plants, a synergistic effect was observed, which was provided by a new quality inherent in the ecosystem emergence. These fertilizers can be applied in the system of precise farming.

Keywords: complex agro-adaptogens, correction of plant growth and development, critical phases of ontogeny, precision agriculture.

Для управления ростом и развитием культурных растений в динамике ростовых процессов в настоящее время используют широкий ассортимент различных корректирующих приемов и средств. Эти средства применяют уже не как корневое питание растений, а в качестве некорневых подкормок. Известен прием управления ростом и развитием растений путем регулирования потребления основных макро- и микроэлементов. Для этого предварительно оценивают наличие элементов питания путем почвенной и растительной диагностики. Затем рассчитывают дозы необходимых элементов питания, а недостающие вещества вносят в виде подкормок. В то же время некорневые подкормки не в состоянии полностью восполнить дефицит минеральных элементов в почве, особенно когда требуется внесение больших доз удобрений. Поэтому некорневые подкормки не могут заменить основное внесение элементов питания, но могут выступать в качестве средств коррекции урожая, особенно при ис-

пользовании подкормок микроэлементами. Несмотря на очевидные достоинства некорневой подкормки, этот прием имеет свои недостатки. Так, при использовании только одних минеральных питательных веществ в виде некорневых подкормок возникает проблема с концентрацией удобрений, поскольку уже при концентрации выше 5-7% наблюдается ожог листьев. Применение «плава», содержащего 30% азота и состоящего из растворов аммиачной селитры и мочевины, обеспечивает повышение концентрации питательных веществ, но не решает проблему управления питанием растений путем использования простых растворимых элементов. Наконец, кроме практики использования простых растворимых питательных веществ появились условия применения их в форме хелатов, поскольку растения усваивают хелаты гораздо лучше [1]. Однако и этот способ не всегда эффективен в связи с тем, что хелатирующие агенты различаются по силе связывания иона металла и применяются

преимущественно для микроэлементов. Причем для баковых смесей с различной реакцией среды и жесткостью нужны разные хелаты. Поэтому для правильного выбора хелата важно знать пределы его стабильности в зависимости от pH. Устранить этот недостаток были призваны жидкие комплексные полимерные удобрения, лишенные недостатков их предшественников [2]. Эти удобрения уже принципиально отличались от традиционных средств, используемых для некорневых подкормок. Существенные отличия заключались в том, что в полимерную матрицу удалось ввести значительное количество макроэлементов: азота (до 25%), фосфора (до 25%) и калия (до 15%), которые закреплялись в ней в виде органоминеральных комплексов [1-3]. Кроме того органический полимер, являющийся основой удобрений, обладая поверхностно-активными и адгезивными свойствами по отношению к поверхности листовой, способен депонировать, а затем снабжать элементами питания вегетирующее растение. Сам же полимер (после использования из него всех элементов питания) разлагался на простые компоненты, не загрязняя окружающую среду [4]. Несмотря на очевидные достоинства удобрений на полимерной основе их потенциал до сих пор не был раскрыт.

Цель исследования – обоснование использования комплексных агрохимикатов в качестве средств управления ростом и развитием растений в системе точного земледелия.

Методика исследования. Объектами исследований были комплексные агрохимикаты серии КАА, микробиологический препарат Экстрасол, универсальный кремнийорганический биостимулятор Мивал-Агро и гуминовые удобрения (Стимулайф, Лигногумат). В качестве нового полимерного удобрения использовался Витанолл (№ Госрегистрации 434-11-1491-1). Комплексные композиционные средства управления ростом и развитием растений серии КАА готовили путем оптимальных комбинаций вышеперечисленных удобрительных средств и биопрепаратов. Исследования, раскрывающие свойства удобрений, проводили в лабораторных условиях. Полевые эксперименты проводили в производственных опытах, площадь делянки более 1 га. Схема опыта: Контроль – хозяйственный высокоинтенсивный фон; вариант 1 – Экстрасол (обработка семян, 1 л/га, обработка растений в 2 приема, 1 л/га); вариант 2 – Мивал-Агро (обработка семян, 5 г/т, обработка растений в 2 приема, 5 г/га); вариант 3 – Витанолл (обработка растений в 2 приема, 0,5 л/га); вариант 4 – Обработка по вегетации в 2 приема КАА состава Мивал-Агро, 5 г/га + Витанолл, 0,5 л/га + Экстрасол, 0,5 л/га. Место проведения Ростовская область, Зерноградский район, 2016 г. Культура – озимая пшеница, сорт Юка, предшественник – пар.

Внедрение удобрений серии КАА осуществляли в различных хозяйствах. Эксперименты проводили на высокоинтенсивном хозяйственном фоне, принятом для возделывания каждой культуры. Площадь каждого опыта не менее 10 га (таблица). Подготовка почвы: вспашка, боронование, культивация. Удобрения: основное внесение (аммиачная селитра, 100 кг/га); подкормка (аммиачная селитра, 80 кг/га). Вариант сравнения включал дополнительное использование КАА на фоне используемых удобрений.

Республика Марий Эл, Медведковский район, ЗАО «Шойбулакский». Культура – ячмень, сорт Владимир. Вариант сравнения (контроль) включал все необходимые хозяйственные операции. Состав КАА: Мивал-Агро + Лигногумат + Витанолл;

Ленинградская область, Ломоносовский район, ЗАО «Победа. Культура – картофель, сорт Невский. Состав КАА: Стимулайф + Витанолл;

Ленинградская область, Всеволожский район, ЗАО Племзавод «Приневское». Культура – белокочанная позднеспелая капуста F1 Парадокс. Состав КАА: Стимулайф + Витанолл.

Эффект действия разных сроков обработки вегетирующих растений оценивали в ЗАО «Агротехника», Ленинградская обл., Тосненский район. Культура – морковь среднеспелый гибрид F1 Морелия. Растения обрабатывали в три срока: 10.06 – ранняя обработка, 26.06 – своевременная обработка, 5.07 – поздняя обработка. Для некорневой обработки растений использовали один из компонентов КАА, раствор Стимулайф. Препарат применяли из расчета 300 мл/га маточного раствора при норме внесения 200 л/га.

Уборку урожая во всех опытах осуществляли в оптимальные сроки. Все представленные экспериментальные данные статистически достоверны.

Особенности и механизм действия новых удобрений серии КАА. При создании новых видов удобрений целесообразно было ввести в полимерную матрицу не только элементы питания, а также средства контроля за их использованием, средства проникновения и закрепления в ткани растений, гормональные и ферментные регуляторы, гуматы и другие природные метаболиты. Таким путем возник новый этап формирования сложных полимерных композиций, где основной эффект уже определялся не суммой составляющих композит компонентов, а эффектами синергизма, регулирующими ростовые процессы растений на разных этапах онтогенеза, обеспечивая реализацию скрытых генетических признаков, стрессоустойчивость и адаптацию к неблагоприятным условиям меняющейся среды обитания. Так были разработаны комплексные агро-адаптогены серии КАА. Основу этих удобрений составляет органическая полимерная матрица с включением в состав полимера не только

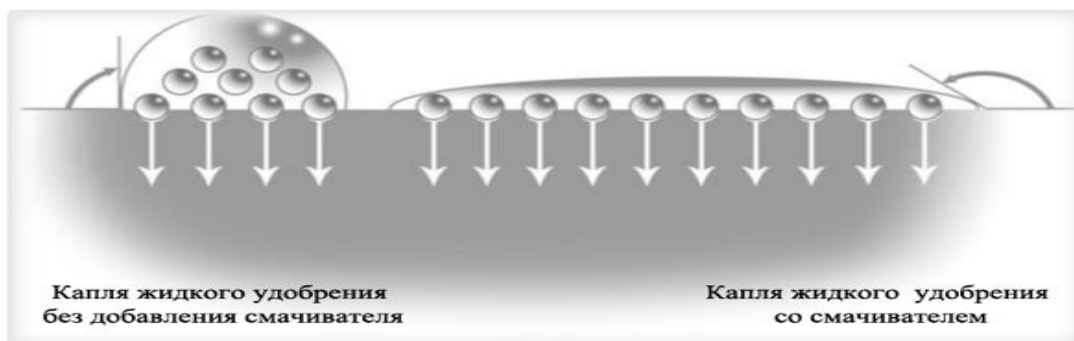


Рис. 1. Эффект смачивателя (<http://izagri.ru/img/preim2.png>)

необходимых элементов питания, но и различных средств, которые обеспечивают комплексный эффект действия на синергетическом уровне. Например, применяемый эффект смачивателя, где в удобрении были заложены свойства поверхностно-активного вещества (ПАВ) позволял обеспечить распределение удобрений и композитов по поверхности листа равномерным тонким слоем, покрывающим пленкой всю листовую поверхность. Подобный эффект уже используется некоторыми производителями новых видов удобрений (рис. 1).

Комплексные удобрения серии КАА (комплексные агро-адаптогены) отличаются от всех предыдущих комплексных удобрений тем, что их свойства определяются не совмещением различных элементов питания, а многокомпонентным составом различных функциональных средств. При этом синергетический эффект обеспечивается новым качеством, свойственным экосистемной эмерджентности. Где эмерджентность – свойство системы, не присущее ее компонентам в отдельности. Это новые качества и свойства, которые возникают у вновь созданной системы в результате объединения ее составных элементов в единую целостную. Причем, ими не обладали никакие другие составные элементы системы. Синергетика предполагает взаимодействие компонентов системы. Это дополнительная энергия или сила, создаваемая в процессе функционирования различных частей или процессов, обеспечивающая гармоничное взаимодействие всех элементов системы [5]. В результате объединения различных частей и процессов в единое целое формируется синергетическая связь. Она возникает между составными элементами системы, изменяет ее эффективность [6]. Причем формирование синергетического эффекта происходит в критические моменты развития организации, т.е. когда система находится в неравновесном состоянии (для растительных систем это критические фазы онтогенеза).

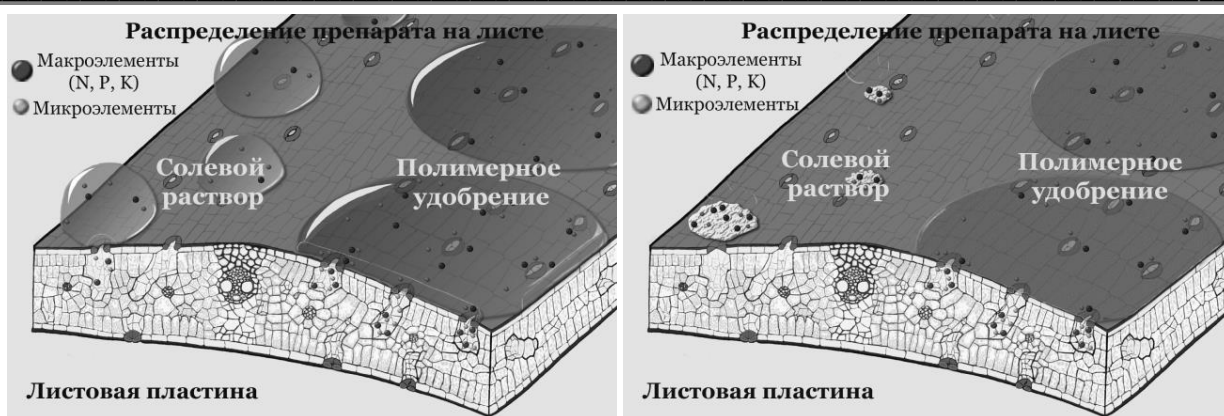
В результате система (в данном случае новые удобрения серии КАА) приобретает некоторые качественные характеристики, которыми не обладают ее составляющие. За время практического испол-

зования комплексных удобрений серии КАА неоднократно наблюдался синергетический эффект, особенно при совместном использовании с регуляторами роста растений.

Результаты. В серии лабораторных исследований было установлено, что действие солевых растворов обычных элементов питания и элементов питания, применяемых в удобрении Витанолл существенно отличаются. На рисунке 2 видно, что капли новых удобрений не только обеспечивают эффект смачивателя (что представлено на рисунке 1), но и обладают синергетическими свойствами. Так, после высыхания состава с обычными удобрениями остаются их высушенные соли, которые выкристаллизовываются на поверхности листа и не усваиваются растением. В то время как питательные элементы, нанесенные на полимерную матрицу Витанолл, сохраняются в составе полимера и постепенно усваиваются растением. Простое добавление ПАВ к растворам обычных удобрений не обеспечивает подобный эффект.

На рисунке 3 проиллюстрировано действие удобрений серии КАА на урожайность озимой пшеницы в интенсивных технологиях, то есть в тех условиях, когда эффективность обычных средств химизации практически уже исчерпана. В то же время некорневые подкормки позволили добиться повышения урожайности на 10-15% даже относительно высокого фона удобрений.

Каждое из испытываемых средств коррекции урожая проявляло значительное позитивное действие на урожайность пшеницы. Так, микробиологический препарат Экстрасол обеспечивал прибавку на 4,5 ц/га, или 9,2%; универсальный кремнийорганический биостимулятор Мивал-Агро – на 5,9 ц/га, или на 10,2%, а полимерное удобрение Витанолл – на 5,9 ц/га, или на 12%. Однако только при формировании композита КАА проявлялся синергетический эффект, обеспечивающий получение прибавки до 7,7 ц/га, или 15,7%. Необходимо учитывать, что при формировании композита дозы отдельных компонентов могут быть даже сокращены.



А) обработка растений

Б) после обработки растений

Рис. 2. Сравнительное действие водорастворимых элементов питания и полимерного удобрения

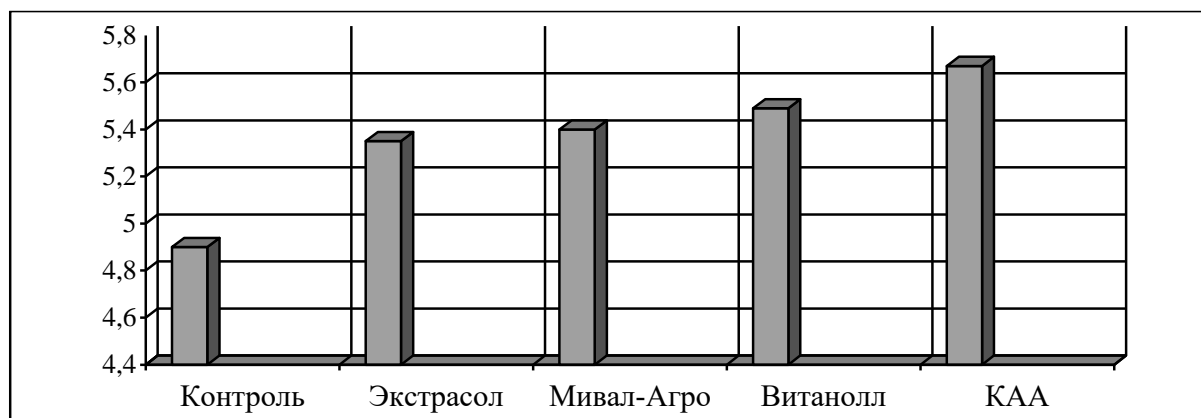


Рис. 3. Влияние удобрений серии КАА на урожайность озимой пшеницы

Действие композитов КАА на урожайность различных культур

Хозяйство	Культура	Урожайность, т/га		Прибавка за счет КАА, %
		фон	КАА	
ЗАО «Шойбулакский», Республика Марий Эл	Ячмень	3,47	4,38	26,2
ЗАО «Победа», Ленинградская область	Картофель	30,2	36,3	20,2
ЗАО Племзавод «Приневское», Ленинградская область	Капуста	65,4	83,7	28,0

Эффективность применения различных композитов в производственных условиях представлена в таблице 2, где, несмотря на высокий удобрительный фон, были получены весьма значительные прибавки. Прибавка урожайности по ячменю составила 0,91 т/га, или 26%, прибавка урожайности картофеля – 6,1 т/га, или 20,2%, прибавка урожайности капусты – 18,3 т/га, или 28%.

Применение новых удобрений адаптировано к условиям производства как в интенсивных технологиях, так и в системах точного земледелия [7]. Оптимизация биопродуктивности культур достигается за счет реализации прогнозирования состояния растений, что обеспечивает выбор сроков обработки растений в критические фазы онтогенеза корректирующим средством Витанолл и другими корректорами. При этом входящие в состав КАА гуматы могут проявлять функции экзогенных фитогормонов [8], переключая интенсивность и направлен-

ность физиологических процессов. На рисунке 4 схематично представлена оптимизация использования удобрения во времени за счет использования гуминового препарата Стимулайфа. Так, ранняя обработка растений обеспечивала прибавку на 16,9%, а запоздалая обработка обеспечивала прибавку до 7,3% к хозяйственному фону. Наибольшую эффективность действия давала своевременная обработка растений, обеспечивая прибавку до 21%.

Таким образом, использование комплексных удобрений в составе некорневых подкормок может обеспечить коррекцию урожайности в системе точного земледелия и точного растениеводства. При этом «точность» здесь определяется не дифференцированным внесением удобрения в пространстве неоднородного по агрохимическим показателям поля, а неким другим фактором управления урожайностью. Это фактор оптимального времени воздействия на растущее

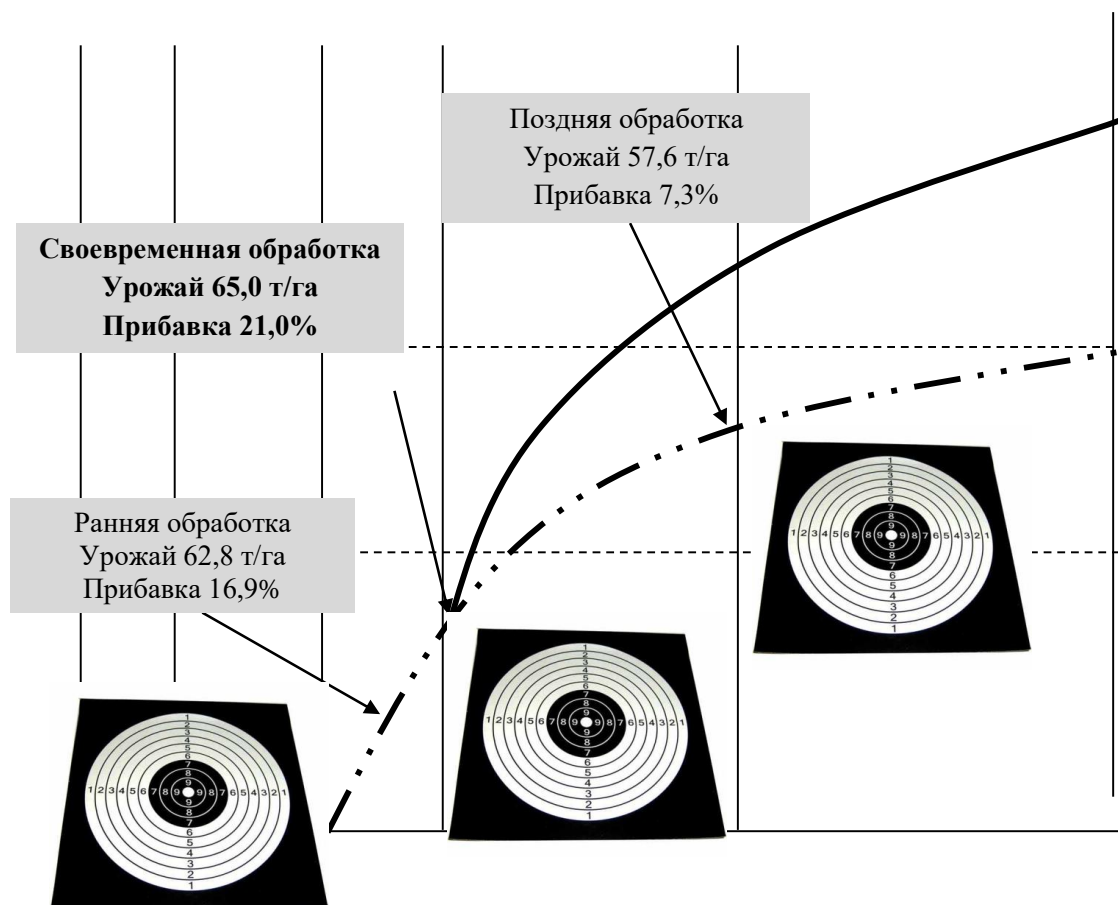


Рис. 4. Эффект оптимальных сроков обработки растений

растение корректирующим агентом в критические фазы роста и развития возделываемой культуры. Особенно это важно при переключении физиологических механизмов питания растений, когда вместо накопления биофильных элементов в органах побочной продукции (листьях, стеблях и др.) питательные элементы реутилизируются в органы запаса и репродукции

(зерно, клубни, плоды). Дифференциация внесения подобных удобрений во времени расширяет сферу технологий точного земледелия. Это обеспечивает экономию средств химизации путем направленной реутилизации накопленных в растении элементов питания в хозяйственно ценные органы растений.

Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований ФГБНУ АФИ и ФГБНУ ЛенНИИСХ.

Литература

1. Гайсин И.А., Пахомова В.М., Даминова А.И. Теоретическое и практическое обоснование защитных свойств полифункциональных хелатных микроудобрений марки ЖУСС // *Агрохимический вестник*, 2017, № 1. – С. 44-47.
2. Найда Н.М., Петропавловский А.Г., Комаров А.А. Перспективы использования новых полимерных удобрений «Зеленит» при культивировании козлятника лекарственного // *Известия СПбГАУ*, 2010, № 19. – С. 14-20.
3. Найда Н.М., Комаров А.А. Особенности культивирования бурачника лекарственного при использовании новых полимерных удобрений // *Известия СПбГАУ*, 2010, № 20. – С. 9-14.
4. Санина Н.В. Влияние комплекса Мивал-агро, Лигногумата и Зеленита на урожайность и качество зерна ячменя в аридных условиях среднего Поволжья // *АгроЭкоИнфо*, 2017, № 4(30). – С. 1-8.
5. Боулдинг К. Общая теория систем – скелет науки / *Исследования по общей теории систем*. – М.: Прогресс, 1969. – С. 106-124.
6. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособие. – СПб.: Бизнес-пресса, 2000. – 326 с.
7. Матвиенко Д.А., Якушев В.П., Канаш Е.В., Петрушин А.Ф. Методические подходы к проведению дифференцированных азотных подкормок с использованием тестовых площадок // *Агрохимический вестник*, 2017, № 1. – С. 19-24.
8. Комаров А.А., Комаров А.А. Гипотеза проявления физиологической активности гумусовых веществ в аспекте процесса гумификации // *Агрохимический вестник*, 2017, № 6. – С. 49-54.

УДК 631.811.98
DOI 10.24411/0235-2516-2018-10058

ВЛИЯНИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ, АМИНОКИСЛОТ, МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯРОВОЙ И ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

И.П. Можарова, к.с.-х.н., **А.А. Коршунов**, к.с.-х.н., **Т.Ю. Вознесенская**
ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, e-mail: elgen@mail.ru

Представлены результаты полевых испытаний новых полифункциональных удобрений с включением гуминовых веществ, аминокислот, макро- и микроэлементов на пшенице яровой и озимой. Применение этих удобрений для внесения в почву под предпосевную культивацию или в подкормку в период вегетации способствует активизации ростовых и формообразовательных процессов, повышению устойчивости растений к негативным факторам среды и к болезням, повышению урожайности и улучшению качества зерна. В условиях Тамбовской области прибавка урожая зерна озимой пшеницы сорта Виола составила 5,8-26,0%. В условиях Ульяновской области прибавка урожая зерна яровой пшеницы сорта Симбирцит составила 8,7-15,1%. Урожайность пшеницы яровой сорта Арка в условиях Курганской области повысилась на 6%. В Рязанской области прибавка урожая яровой пшеницы сорта Дарья составила 8,2-29,2%.

Ключевые слова: пшеница яровая и озимая, гуминовые вещества, аминокислоты, полифункциональные удобрения, болезни растений, биологическая эффективность, урожайность, качество зерна.

INFLUENCE OF POLYFUNCTIONAL FERTILIZERS CONTAINING HUMIC SUBSTANCES, AMINOACIDS, MACRO- AND MICROELEMENTS ON YIELD AND QUALITY OF SPRING AND WINTER WHEAT

Ph.D. I.P. Mozharova, Ph.D. A.A. Korshunov, T.Yu. Voznesenskaya

All-Russian Scientific Research Institute for Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, e-mail: elgen@mail.ru

The results of field experiments of new multifunctional fertilizers with the inclusion of humic substances, aminoacids, macro- and microelements on spring and winter wheat are presented. The use of these fertilizers for application to the soil for presowing treatment or in top-dressing during vegetation provides activation of growth and form-building processes, increase plant resistance to negative environmental factors and diseases, increase yields and improve grain quality. Under the conditions of the Tambov region, the yield increase of winter wheat grain of the Viola variety was 5.8-26.0%. Under the conditions of the Ulyanovsk region, the yield increase of the grain of spring wheat of the Simbirtsit variety was 8.7-15.1%. The yield of spring wheat of the Arka variety under conditions of the Kurgan region increased by 6%. In the Ryazan region, the yield increase of spring wheat of the Daria variety was 8.2-29.2%.

Keywords: spring and winter wheat, humic substances, aminoacids, polyfunctional fertilizers, plant diseases, biological efficiency, yield, grain quality.

В современных интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур важное место должны занимать инновационные полифункциональные формы удобрений [1-4]. Неотъемлемую часть их рецептуры составляют макро- и микроэлементы, аминокислоты, различные органические соединения стали и гуминовые вещества [5-8]. Под действием гуминовых веществ у растений активизируются процессы корнеобразования, сопровождающееся развитием ассимиляционного аппарата и ростом надземной части [9-11]. В растениях изменяется фосфорный обмен, что выражается в увеличении количества фосфорорганических соединений, участвующих в реакциях переноса и трансформации энергии. При активном использо-

вании поглощенного фосфора и усилении синтеза нуклеиновых кислот происходит накопление сахаров [10, 12]. Активизируется белковый обмен, сопровождающийся усилением роста растений, снижением содержания нитратного азота в готовой продукции и улучшением ее качества [13-18]. Повышается количество таких незаменимых аминокислот, как валин, гистидин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, при некотором снижении содержания лизина и триптофана [11]. Усиливается интенсивность процессов дыхания, фотосинтеза и водобмена, повышается концентрация хлорофилла и аскорбиновой кислоты, способствующих повышению энергетического потенциала и активности окислительно-восстановительных ферментов, осо-

бенно в начальные фазы развития растения [8, 12]. Повышается устойчивость растений к болезням [13]. В результате воздействия гуминовых веществ на растение даже на фоне последействия удобрений, урожайность сельскохозяйственных культур может повышаться в среднем до 30-90% [14-18].

Цель работы – установить оптимальные нормы расхода новых полифункциональных удобрений с включением гуминовых веществ, аминокислот макро- и микроэлементов на пшенице яровой и озимой, а также оценить их влияние на ростовые и формообразовательные процессы, устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды и болезням и как следствие на урожайность и качество продукции.

Методика. В 2016-2017 гг. на пшенице яровой и озимой испытаны комплексные удобрения в разных регионах России.

Клеансторм – удобрение на основе гуминовых кислот (смесь гумусовых веществ, макро-, микроэлементов и экстракта морских водорослей (гуминовые кислоты – 0,80%; азот (N) – 3%, бор (B) – 1%, сухое вещество – 35%, органическое вещество, в пересчете на сухое вещество – 65%), производитель – ООО «Багратион». Исследования на пшенице озимой сорта Виола проводили в условиях Тамбовской области. Характеристика почвы опытного участка, слой 0-30 см: подвижный фосфор 22,2 мг/кг; обменный калий 11,0 мг/кг; рН_{KCl} 5,7; Нг 3,8 мг-экв/100 г почвы, V 57,6 мг-экв/100 г почвы. Предшественник – черный пар. Перед посевом проведена культивация, удобрения не вносили. Посев проведен 5 сентября 2016 г. подкормка посевов аммиачной селитрой из расчета 30 кг д.в/га проведена 28 марта. Посевы обрабатывали гербицидом Фенизан (0,2 л/га). *Схема опыта:* 1. Контроль – фон NPK; 2. Фон NPK + Клеансторм: некорневая подкормка растений в дозе 0,4 л/га в фазах кушение; выход в трубку; колошение – молочная спелость; 3. Фон NPK + Клеансторм: некорневая подкормка растений в дозе 0,6 л/га в фазах кушение; выход в трубку; колошение – молочная спелость; 4. Фон NPK + Клеансторм: некорневая подкормка растений в дозе 0,8 л/га в фазах кушение; выход в трубку; колошение – молочная спелость.

Марвита Да – органоминеральное удобрение (смесь экстракта морских водорослей (*Ascophyllum nodosum*), аминокислот из сырья растительного и животного происхождения, гумусовых веществ, макро- и микроэлементов (азот 2%, калий 1,93%, марганец 0,026%; железо 0,022%, аминокислоты 0,5%, гуминовые кислоты 0,1%). Производитель – Сипкам Инагра С.А. (Испания). На яровой пшенице сорта Симбирцит испытания Марвита Да проводили в 2017 г. в условиях Ульяновской области. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый на желто-бурой карбонатной

глине. Содержание гумуса в пахотном слое составляло 6,3%, общего азота 0,23%, подвижных P₂O₅ и K₂O (по Чирикову) 225 и 134 мг/кг, рН_{KCl} 6,7, сумма поглощенных оснований 40,4 мг/кг почвы. *Схема опыта:* 1. Контроль – фон NPK; 2. Фон NPK + Марвита Да: некорневая подкормка растений в фазе кушение – выход в трубку (2,5 л/га); 3. Фон NPK + Марвита Да: некорневая подкормка растений в фазе кушение – выход в трубку (5,0 л/га); 4. Фон NPK + Марвита Да: некорневая подкормка растений в фазе кушение – выход в трубку (7,5 л/га). Предшественник – озимая пшеница.

Бионутриент марка Райза Микс органоминеральное удобрение (смесь экстракта морских водорослей (*Ascophyllum nodosum*), аминокислот из сырья растительного и животного происхождения, гумусовых веществ, макро- и микроэлементов (азот 1,92%, марганец 0,5%, цинк 0,2%, медь 0,1%, железо 1,1%, молибден 0,02%, бор 0,2%, органическое вещество, в т.ч. гумусовые вещества 30%). Производитель – Десарролло Агрикола и Минеро С.А. (ДАЙМСА) (Испания). Испытания проводили в 2017 г. в Курганской области на яровой пшенице сорта Арка. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый в слое 0-20 см содержание гумуса 3,47%; рН_{KCl} 5,99; содержание подвижного P₂O₅ (по Чирикову) 86 мг/кг, обменного K₂O 180 мг/кг, нитратного азота N-NO₃ 13,5 мг/кг почвы. Предшественник – чистый пар, предпосевную обработку почвы проводили перед посевом. В качестве фона вносили аммофос в дозе 0,5 ц/га. Посев 20 мая, уборка 24 августа 2017 г. Посевы в фазе кушения обрабатывали баковой смесью гербицидов (Балерина, 0,3 л/га + Ларен, 10 г/га + Ластик экстра, 1 л/га) с добавлением фунгицида Фалькон, 0,6 л/га. Опрыскивание посевов фунгицидом системного действия (Фалькон, 0,6 л/га) против листовых фитопатогенов проведено в фазе колошения пшеницы. *Схема опыта:* 1. Контроль – фон NPK; 2. Фон NPK + Бионутриент Райза Микс (некорневая подкормка растений в фазах кушение, начало колошения (3,0 л/га)); 3. Фон NPK + Бионутриент Райза Микс (некорневая подкормка растений в фазах кушения, начало колошения (4,0 л/га)).

Биокат-Джи органоминеральное удобрение (смесь аминокислот из растительного сырья, гумусовых веществ, макро- и мезоэлементов (азот 10%, калий 5%, сера 8,5%, гуминовые кислоты 8,5%, фульвокислоты 20,5%, органическое вещество 75%). Производитель – Атлантика Агрикола С.А. (Испания). Испытания проводили на яровой пшенице сорта Дарья в 2016 г. в Рязанской области на серых лесных тяжелосуглинистых почвах. Характеристика почвы в слое 0-30 см: содержание органического вещества 2,78%, подвижный фосфор 328 мг/кг, обменный калий 305 мг/кг. Содержание микроэлементов в почве колеблется от очень

бедных по марганцу (22,79 мг/кг) и обменному магнию (2,19 мг/кг) до очень богатой для меди (8,4 мг/кг), средней для цинка (1,61 мг/кг) и бора. Реакция почвенного раствора слабокислая. *Схема опыта*: 1. Контроль – фон НРК; 2. Фон НРК + Биокаат-Джи (внесение перед посевом, 150 кг/га); 3. Фон НРК + Биокаат-Джи (внесение перед посевом, 300 кг/га); 4. Фон НРК + Биокаат-Джи (внесение перед посевом, 500 кг/га). Предшественник – картофель. Агрохимикат Биокаат-Джи вносили под предпосевную обработку почвы 7 мая. В качестве фона вносили аммофос в дозе 0,5 ц/га. Посев 20 мая, уборка 24 августа 2017 г. Для защиты семян яровой пшеницы от возбудителей различных видов головни и корневых гнилей семена обработали комплексным фунгицидным протравителем с антистрессовыми компонентами Виал Траст, ВСК в дозе 0,4 л/т. В течение вегетации посевы яровой пшеницы обрабатывали против сорной растительности – гербицидами Гранат, ВДГ + Дротик, ККР; против возбудителей болезней – системным фунгицидом Титул Дуо, ККР и против вредителей – инсектицидом Кинфос, КЭ.

Фенологические наблюдения, учет густоты всходов, определение структуры урожая проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985). В растительных образцах определяли процентное содержание сухого вещества и азота по ГОСТ 13496.4. Содержание белка в зерне путем умножения содержания общего азота на коэффициент 5,7; качество зерна по ГОСТ 28636, содержание клейковины по ГОСТ 3040 и ГОСТ 9404 в аналитической лаборатории. Урожайность учитывали путем сплошного обмолота всей массы с учетной делянки, данные по учету приводили к 100% чистоте и 14% влажности. Количество клейковины определяли по ГОСТ 10846, количество белка по ГОСТ 13496.4. Результаты подвергали математической обработке методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа. Статистическая оценка достоверности результатов проведена на основе дисперсионного анализа при уровне значимости 95% с использованием программы Agros версия 2.06.

Результаты. В Тамбовской области погодные условия сложились в целом неоднозначными. Осенью 2016 г. выпало достаточное количество осадков, чтобы получить полноценные всходы озимых культур и их дальнейшее развитие, однако температурный режим не благоприятствовал нормальному развитию озимых в осеннее время. Посевы озимых не добрали суммы положительных температур, которая в этой зоне должна быть +450-500°C (с момента появления всходов до прекращения осенней вегетации). Несмотря на это, перезимовка растений озимой пшеницы проходила удовлетворительно. Погода весной и летом 2017 г. была влажной и холодной, что способствовало дополнительному кущению

озимой пшеницы весной, активному наращиванию вегетативной массы, формированию и наливу зерна, и в целом получению хорошей урожайности. Некорневые подкормки посевов пшеницы озимой агрохимикатом Клеансторм способствовали увеличению массы зерна с одного колоса на 1,5-6,6%, массы зерна с растения на 29,2-38,3%. Применение различных доз Клеансторм повысило урожайность на 5,8-26,0% и улучшило качество зерна (табл. 1).

В условиях Ульяновской области вегетационный период 2017 г. характеризовался прохладной и дождливой весенне-летней погодой, засушливой – в августе и сентябре. В июле наблюдался умеренно теплый температурный режим с рекордным количеством осадков 163 мм (281% от нормы), причем основное (134,6 мм) количество осадков выпало 5-6 июля. Сумма активных температур составила 2411°C за счет жаркого августа и сентября, оказалась близкой к средним многолетним значениям. Гидротермический коэффициент 1,4 при норме 1,0. Такие погодные условия удлинители продолжительность периода сев – всходы до 10-15 суток, а также повлияли на особенности роста и развития растений в посевах яровых зерновых колосовых культур. Некорневая подкормка яровой пшеницы Марвита Да, начиная с фазы выхода в трубку, на 1-2 дня ускоряла развитие растений. Выживаемость растений на контроле составила 82,0%, при некорневой подкормке Марвита Да 84,8-86,4%. Количество сохранившихся растений яровой пшеницы к моменту уборки на вариантах с обработкой агрохимикатом, увеличивалось на 2,8-4,4%. Данные таблицы 2 показывают, что применение Марвита Да снижало поражение яровой пшеницы бурой ржавчиной на 1,5-4,3% и интенсивность развития болезни на 1,0-1,5%. Аналогичные результаты отмечены и при учете поражения растений корневыми гнилями. При использовании Марвита Да число продуктивных стеблей увеличилось на 3-11%, длина колоса – на 9-16%, количество зерен в колосе – на 2-3%, масса 1000 зерен – на 2-4% (табл. 3). Применение агрохимиката повышало урожайность относительно контроля на 3,0-5,2 ц/га (8,7-15,1%). Анализ качества зерна показал, что повышение содержания в зерне белка до 14,4% (контроль – 13,1%), клейковины – с 26,8% в контроле до 28,3% в варианте с дозой агрохимиката 7,5 л/га. Наибольший положительный эффект по комплексу показателей отмечен при применении Марвита Да в дозах 5 и 7,5 л/га.

В Курганской области в 2017 г. весенние запасы влаги в почве благодаря снежной зиме были хорошими. В мае выпало 58 мм осадков (176% от нормы) в основном дожди прошли в третьей декаде. Температурный режим мая отмечался на 0,5°C ниже нормы. Июнь характеризовался достаточным количеством влаги и температурным режимом в пределах 16-19,8°C. Кущение и начало стеблевания

1. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Виола (Тамбовская область, 2017 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Масса 1000 зерен, г	Содержание сырого протеина, %	Содержание клейковины, %
Контроль – фон NPK	43,4	-	54,6	14,60	31,0
Фон NPK + Клеансторм, 0,4 л/га	45,9	2,5	55,0	14,90	32,1
Фон NPK + Клеансторм, 0,6 л/га	51,0	7,6	56,0	15,40	32,4
Фон NPK + Клеансторм, 0,8 л/га	54,7	11,3	56,2	14,86	33,6
НСР _{0,5}	3,2				

пшеницы проходило при достаточном увлажнении. Первые декады июля отличались недобором тепла, а увлажнение первой и третьей декад месяца было выше нормы, во второй выпало 20 мм, или 42% к норме осадков. Обилие влаги способствовало нарастанию вегетативной массы на всех вариантах. Некорневые подкормки посевов удобрением Бионутриент марки Райза Микс способствовали увеличению количества продуктивных стеблей на 3-8%.

При этом погодные условия были благоприятны для развития и распространения листовых инфекций (мучнистая роса и бурая ржавчина). Поражение яровой пшеницы в фазе начала кущения обыкновенными корневыми гнилями составило 8,3% при распространенности болезни 47%, что находится в пределах порога вредоносности. В период вегетации культуры наблюдалось поражение мучнистой росой, первичное проявление инфекции отмечалось в фазе выхода в трубку, в основном патоген питался на нижних ярусах листьев (развитие 6,5%). Несколько позже отмечалось появление бурой листовой ржавчиной (0,8%), которая интенсивно распространилась

при благоприятных для патогена погодных условиях среды. Чтобы устранить поражение болезнями была проведена повторная обработка фунгицидом Фалькон 0,6 л/га в фазе колошения пшеницы. Некорневая подкормка растений удобрением Бионутриент марки Райза Микс способствовала получению достоверной прибавки урожая зерна яровой пшеницы, которая составила 2,1 ц/га (табл. 4). Содержание белка и клейковины в зерне оставалось на уровне контроля. Наибольшая продуктивность растений отмечена при норме расхода агрохимиката 4 л/га.

В условиях Рязанской области рост яровой пшеницы зависел от нормы внесения органоминерального удобрения Биокат-Джи. Дозы 300 и 500 кг/га обеспечили кущение с большим количеством побегов и образованием боковых побегов, при этом формировалась более мощная вторичная корневая система. Применение Биокат-Джи способствовало увеличению высоты растений пшеницы на 10,9-23,5%, длины колоса – на 17,2-51,7%, количества зерен в колосе – на 20-26,7%, массы 1000 зерен на 3,6-6,1%. Урожайность зависела от дозы внесенного

2. Поражение растений яровой пшеницы сорта Симбирцит бурой ржавчиной и корневыми гнилями (Ульяновская область, 2017 г.)

Вариант	Бурая ржавчина		Корневые гнили (в фазе колошения)	
	поражение, %	развитие, %	поражение, %	развитие, %
Контроль – фон NPK	16,1	4,1	14,1	3,6
Фон NPK + Марвита Да, 2,5 л/га	14,6	3,1	13,8	3,1
Фон NPK + Марвита Да, 5,0 л/га	13,5	2,8	13,4	3,2
Фон NPK + Марвита Да, 7,5 л/га	11,8	2,6	13,0	3,0

3. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Симбирцит (Ульяновская область, 2017 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га	± к контролю		Содержание белка в зерне, %	Клейковина, %
		ц/га	%		
Контроль – фон NPK	34,5	-	-	13,1	26,8
Фон NPK + Марвита Да, 2,5 л/га	37,5	3,0	8,7	13,7	27,5
Фон NPK + Марвита Да, 5,0 л/га	38,2	3,7	10,7	14,5	27,9
Фон NPK + Марвита Да, 7,5 л/га	39,7	5,2	15,1	14,4	28,3
НСР _{0,5}	2,4	-	-	0,7	1,1

4. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Арка (Курганская область, 2017 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Содержание сырой клейковины в зерне, %	Содержание белка в зерне, %
Контроль – фон NPK	40,8	-	20,0	9,9
Фон NPK + Бионутриент марка Райза Микс, 3,0 л/га	41,0	0,2	20,1	9,8
Фон NPK + Бионутриент марка Райза Микс, 4,0 л/га	42,9	2,1	20,1	9,9
НСР _{0,95}		1,43		

перед посевом Биокат-Джи. В контроле она составила 27,2 ц/га, максимальная доза (500 кг/га) обеспечила прибавку 9,2 ц/га (29,2%), при внесении доз 150 и 300 кг/га урожайность увеличилась соответственно на 2,6 ц/га (8,2%) и 5,6 ц/га (17,8%). Использование Биокат-Джи улучшило показатели зерна, качественная оценка относится к первой группе. Натура зерна была более высокой, составив 747-755 г/л (в контроле 738 г/л). Наибольшая эффективность отмечена при применении дозы 500 кг/га.

Таким образом, регистрационные испытания на озимой и яровой пшенице в различных почвенно-климатических условиях России показали высокую эффективность инновационных полифункциональных удобрений, в составе которых оптимально сочетаются минеральные, органические и гуминовые элементы. Полученные результаты позволяют рекомендовать эти удобрения производителям сельскохозяйственной продукции.

Литература

1. Гейгер Е.Ю., Варламова Л.Д., Семенов В.В., Погодина Ю.В., Сиротина Ю.А. Микроудобрения на хелатной основе: опыт и перспективы использования ПАВ // *Агрохимический вестник*, 2017, № 2. – С. 29-32.
2. Кшникаткина А.Н., Русяев И.Г. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян комплексными микроудобрениями и бактериальными препаратами // *Агрохимический вестник*, 2018, № 3. – С. 48-50.
3. Гармаш Г.А., Гармаш Н.Ю., Берестов А.В. Гуматизированные удобрения и их эффективность // *Агрохимический вестник*, 2013, № 2. – С. 11-13.
4. Исачкова О.А., Ганичев Б.Л., Лапишинов Н.А., Пакуль В.Н., Жеребцов С.И., Исмагилов З.И. Влияние гуминовых препаратов на агробиологические показатели голозерного овса // *Достижения науки и техники АПК*, 2015, Т. 29, № 2. – С. 26-29.
5. Христева Л.А. об участии гуминовых кислот и других органических веществ в питании высших растений // *Почвоведение*, 1953, № 10. – С. 24-29.
6. Климова А.А., Комиссаров И.Д. Влияние гуминовых препаратов на ростовые процессы растений // *Труды Тюменского СХИ*, 1971, Т. 14. – С. 189-199.
7. Христева Л.А., Лукьяненко Н.В. Роль физиологически активных веществ почвы – гуминовых кислот, битумов и витаминов В2, С, Р-Р, А и D в жизни растений и пути их пополнения // *Почвоведение*, 1962, № 10. – С. 18-27.
8. Комаров А.А. Некоторые рассуждения о действии гуминовых препаратов на растения // *Агрохимический вестник*, 2009, № 6. – С. 28-29.
9. Лукьяненко Н.В. Влияние гуматов натрия на жизнедеятельность, морфогенез и урожай пожнивной кукурузы // *Гуминовые удобрения: теория и практика их применения*. – Киев: Урожай, 1968, Т. 3. – С. 68-76.
10. Коршунов А.А., Грабовская Т.Ю. Влияние регуляторов роста растений на продуктивность озимой пшеницы при различных нормах внесения минеральных удобрений / *Материалы докладов участников 9-ой конференции «Анапа-2016»* / под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2016. – С. 85-89.
11. Шаповал О.А., Можарова И.П., Коршунов А.А. Новые гуминовые удобрения для сельского хозяйства / *Сборник тезисов Четвертой международной конференции СНГ МГО по гуминовым инновационным технологиям «От молекулярного анализа гуминовых веществ к природоподобным технологиям» (НГТ-2017)* / под ред. И.В. Перминовой, О.С. Якименко, Н.А. Куликовой. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. – С. 147-148.
12. Бобырь Л.Ф. Интенсивность фотосинтеза, состояние электронно-транспортной цепи и активность фосфорилирующей системы под воздействием гуминовых веществ // *Гуминовые удобрения: теория и практика их применения*. – Днепропетровск: Изд-во ДСХИ, 1980, Т. 7. – С. 54-63.
13. Ронсаль Г. Биологически активные (подвижные) гуминовые вещества – фактор действия перегноя на почву и растение // *Теор. основы действия физиолог. активных веществ и эффективность удобрений их содержащих*. – Днепропетровск: Изд-во ДСХИ, 1969. – С. 67-76.
14. Шаповал О.А., Можарова И.П. По результатам регистрационных испытаний регуляторов роста растений различных химических групп / *Материалы докладов участников 9-ой конференции «Анапа-2016»* / под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2016. – С. 177-185.
15. Шаповал О.А., Барчукова А.Я., Мухина М.Т., Коршунов А.А. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от применения баковой смеси препаратов (Мелафен и Бигус) / *Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием «Гуминовые вещества в биосфере»*. Сыктывкар (Коми НЦ УРО РАН), 2014. – С. 153-156.
16. Нечаев Л.А., Путинцев А.Ф., Зотиков В.И., Коротеев В.И., Ерохин А.И., Мордовин А.Н. Влияние применения гумата калия на продуктивность пивоваренного ячменя // *Достижения науки и техники АПК*, 2014, № 6. – С. 33-35.
17. Виноградова В.С., Мартынцева А.А., Казарин С.Н. Влияние гуминовых и микроудобрений на урожайность яровой пшеницы // *Земледелие*, 2015, № 1. – С. 32-34.
18. Чепл Я., Касал П., Коршунов А.В., Климанов В., Митюшкин А.В., Рахимов Р.С. Результаты чешско-российских исследований по применению лигногуматов и хелатов в картофелеводстве // *Достижения науки и техники АПК*, 2011, № 4. – С. 36-39.

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛАУКОНИТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

¹Л.М.-Х. Биккинина, к.с.-х.н., ²А.А. Лукманов, к.б.н., ¹А.Х. Яппаров, д.с.-х.н., ¹В.В. Сидоров

¹Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения
ФИЦ Казанский научный центр РАН, e-mail: liliyaagro@mail.ru

²Центр агрохимической службы «Татарский», e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Представлены данные многолетних исследований применения глауконитсодержащих пород на черноземе выщелоченном при возделывании ярового ячменя. Установлена высокая эффективность глауконитов, заделанных в почву по фону азотных удобрений. Выявлено положительное влияние природного глауконита, как в действии, так и в последствии, на качество зерна ярового ячменя: накопление белка в год прямого действия агроминерала составило 13,3%, а в последствии на четвертый и пятый годы – 20,3% к фону. Установлено положительное влияние низкой дозы (15 т/га) глауконита на динамику азота и белка в зерне ярового ячменя в последствии на четвертый и пятый годы. Высокая доза глауконита – 20 т/га, отличалась меньшей эффективностью.

Ключевые слова: глауконит, удобрения, яровой ячмень, зерно, белок, урожайность.

AGROCHEMICAL EFFICIENCY OF GLAUCONITE FOR QUALITY OF SPRING BARLEY GRAIN

¹Ph.D. L.M.-Kh. Bikkinina, ²Ph.D. A.A. Lukmanov, ¹Dr.Sci. A.Kh. Yapparov, ¹V.V. Sidorov

¹Tatar Scientific Research Institute of Agrochemistry and Soil Science, FRC Kazan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, e-mail: niiexp2@mail.ru

²State Center of Agrochemical Service Tatarskiy, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Data of long-term researches of application of glauconite-containing rocks on the leached Chernozem at cultivation of spring barley are presented. High efficiency of glauconites embedded in the soil on the background of nitrogen fertilizers is established. The positive effect of natural glauconite, both in action and in the aftereffect, on the quality of spring barley grain was revealed. The accumulation of protein in the year of direct action of agromineral was 13.3%, and in the aftereffect for the fourth and fifth years – 20.3% to the background. A positive effect of low dose (15 t/ha) of glauconite on the dynamics of nitrogen and protein in the grain of spring barley in the aftereffect for the fourth and fifth years was established. High dose – 20 t/ha, was less effective.

Keywords: glauconite, fertilizers, spring barley, grain, protein, yield.

Разработанные и внедренные в производство интенсивные технологии возделывания ярового ячменя с применением повышенных норм минеральных удобрений недоступны многим сельхозтоваропроизводителям. Все это обращает внимание к поиску недорогих минеральных удобрений, оказывающих минимальную нагрузку на биосферу [1, 2]. Эффективность и безопасность использования в сельскохозяйственном производстве природного глауконита – агроминерала нерудного происхождения показана в работах Ш.А. Алиева [3-5]. В Республике Татарстан глауконит представлен в виде кварцево-глауконитового песка, идущего в отвал при выработке фосфоритовых руд. Запасы сырьевых ресурсов в Республике составляют более 65 млн. т [6].

Цель исследований – изучение влияния кварцево-глауконитового песка (глауконита) в действии и последствии на качественные показатели зерна ярового ячменя.

В задачи исследований входила оценка влияния природного глауконита, внесенного по фону аммиачной селитры, на увеличение количества в зерне азота, белка, фосфора, зольных элементов и углеводов в сравнении с азотным фоном.

Объекты и методы. Исследования проводили в 2011-2015 гг. на выщелоченном черноземе, средне-мощном, тяжелосуглинистом. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-25 см): гумус 6,7%; рН_{KCl} 5,1; подвижный фосфор 121 мг/кг; обменный калий 108 мг/кг; гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований соответственно 4,9 и 49,2 мг-экв/100 г почвы.

Химический состав глауконитового песка, %: P₂O₅ – 9,7; K₂O – 1,8; CaO – 28,5; Na₂O – 0,5; SiO₂ – 24,1; Al₂O₃ – 5,4; Fe₂O₃ – 7,3; FeO – 0,6; MgO – 1,2; SO₃ – 4,5; SO₄ – 0,2; F – 1,3; CO₂ – 10,3. Минеральный состав, %: глауконит, кварц, полевой шпат и глинистые минералы до 90,0-95,0%, цеолит – 5,0-

10,0%. Глаукониты Сюндюковского месторождения Республики Татарстан заделывали в почву с осени 2010 г. Полная норма в физическом весе составила 15 и 20 т/га. С учетом химического состава глауконита оптимальный режим питания предусматривал ежегодное внесение расчетной дозы (90 кг/га) аммиачной селитры в действующем веществе.

Исследуемая культура – яровой ячмень. Повторность опыта трехкратная, расположение делянок рендомизированное. Площадь делянок 50 м². Агротехника возделывания общепринятая для данной зоны.

Агрохимический анализ почвенных образцов проводили по общепринятым методикам: определение органического вещества (ГОСТ 26213-91); рН_{KCl} (ГОСТ 26483-85); гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); суммы поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88); подвижных соединений фосфора по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91).

В зерне ярового ячменя определяли содержание азота, фосфора по методу Гинзбург, содержание белка (ГОСТ 10846-91), клетчатки (ГОСТ Р 52839-2007), зольности (ГОСТ 10847-74).

Экспериментальные данные обработали методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерной программы Excel.

Результаты и обсуждение. Исследования 2011 г. показали эффективность глауконита как в действии, так и в последствии. Внесенный по фону аммиачной селитры, он оказал заметное влияние на биохимический состав зерна ярового ячменя. Исследования первого года свидетельствовали о том, что содержание общего азота в зерне под влиянием азотного удобрения снизилось относительно контроля на 24,6% на четвертый и пятый годы опыта соответственно на 15,7 и 1,6%. По-нашему мнению, ежегодное внесение аммиачной селитры способствовало подкислению почвы, что снижало обеспеченность растений азотом.

Глауконит в дозах 15 и 20 т/га, внесенный в сочетании с аммиачной селитрой, способствовал в первый год его действия повышению содержания азота на 28,4 и 44,2% соответственно к фону (табл. 1). На четвертый год в последствии агроминерала показатели азота были выше значения азотного фона на 12,1 и 5,0%, а на пятый год – на 5,6 и 7,2% соответственно дозам.

Внесение одной аммиачной селитры способствовало изменению содержания белка в зерне. В первый год его количество относительно контроля снизилось на 6,2%, а на четвертый и пятый годы соответственно на 2,8 и 11,9%. Увеличение белка отмечали под влиянием глауконита в год прямого действия на 5,3 и 13,3%, а в последствии на четвертый год – на 14,5 и 8,7%, а на пятый – на 20,3 и 16,9% к фону соответственно возрастающим дозам. Таким образом, наибольшее влияние глауконита на показатели содержания азота и белка в зерне ярового ячменя отмечали в последствии на четвертый и пятый годы при использовании низкой дозы – 15 т/га. При высокой (20 т/га) дозе агроминерала эффективность снизилась.

Глауконит сопутствует конкреционным фосфоритам, поэтому его можно отнести к фосфорному удобрению с содержанием P₂O₅ 3-5%. Обеспеченность почвы фосфором повышает устойчивость культур к болезням, вредителям и к полеганию. Усвоенный растениями фосфор сосредотачивается в зерне. Содержание его в зерне в первый год действия глауконита повысилось на 4,3 и 21,7%, а в последствии на четвертый – на 8,3 и 11,1% и на пятый – на 8,8 и 20,6% соответственно дозам глауконита 15 и 20 т/га, внесенным по азотному фону.

Клетчатка составляет основной компонент оболочки зерна и клеточных стен зародыша (табл. 2). Результаты исследований четвертого года свидетельствуют об увеличении ее содержания под влиянием азотного удобрения на 2,0%, а в сочетании с глауконитом в дозах 15 и 20 т/га – на 1,9 и 15,4% соответственно к фону. На пятый год повышение этого показателя под влиянием глауконитов составило на 4,3 и 13,0% соответственно возрастающим дозам. В последствии глауконит способствовал увеличению содержания в зерне зольных элементов, на четвертый год опыта на 9,1 и 4,5%, а на пятый на 19,0 и 9,5% соответственно возрастающим дозам агроминерала к фону. Подобную эффективность низкой (15 т/га) дозы глауконита в последствии на четвертый и пятый годы отмечали в отношении зольности. Ее количество в зерне под влиянием глауконита в дозе 20 т/га по сравнению с дозой 10 т/га снизилось соответственно на 4,2 и 8,0%. Изучали влияние глауконита в последствии на пятый год на качество соломы ярового ячменя (табл. 2). Под влиянием аммиачной селитры содержание азота снижалось на 9,1% к контролю. Влияние

1. Влияние глауконитов на биохимический состав зерна ярового ячменя, %

Вариант	Азот			Белок			Фосфор		
	2011 г.	2014 г.	2015 г.	2011 г.	2014 г.	2015 г.	2011 г.	2014 г.	2015 г.
Контроль	1,26	1,66	1,27	8,0	7,1	6,7	0,41	0,40	0,35
N ₉₀ – фон	0,95	1,40	1,25	7,5	6,9	5,9	0,46	0,36	0,34
Фон + глауконит, 15 т/га	1,22	1,57	1,32	7,9	7,9	7,1	0,48	0,39	0,37
Фон + глауконит, 20 т/га	1,37	1,47	1,34	8,5	7,5	6,9	0,56	0,40	0,41
НСР _{0,5}	0,04	0,03	0,02	0,07	0,08	0,07	0,02	0,02	0,02

2. Влияние глауконитов на биохимический состав зерна и соломы ярового ячменя, %

Вариант	Зерно				Солома			
	клетчатка		зольность		азот	фосфор	зольность	клетчатка
	2014 г.	2015 г.	2014 г.	2015 г.				
Контроль	5,1	2,5	2,3	2,2	0,55	0,04	5,55	35,4
№ ₉₀ – фон	5,2	2,3	2,2	2,1	0,50	0,06	5,54	32,2
Фон + глауконит, 15 т/га	5,3	2,4	2,4	2,5	0,65	0,10	5,73	35,6
Фон + глауконит, 20 т/га	6,0	2,6	2,3	2,3	0,75	0,19	5,78	36,2
НСР _{0,5}	0,04	0,06	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04

глауконитов в последствии сохранялось, показатели азота превышали значение азотного фона на 30,0 и 50,0% соответственно возрастающим дозам. Содержание зольных элементов повысилось на 3,4 и 4,3%, клетчатки – на 10,5 и 12,4% соответственно внесенным дозам агроминерала 15 и 20 т/га.

Таким образом, исследованиями выявлено положительное влияние природного глауконита на качество зерна ярового ячменя как в действии, так и в последствии. Так, накопление белка в зерне в год прямого действия мелиоранта составило 13,3%, а в последствии на четвертый и пятый годы – 20,3% по сравнению с фоном.

Литература

1. Биккинина Л.М.-Х., Алиев Ш.А., Сидоров В.В. Улучшение структуры чернозема выщелоченного под влиянием известкования // *Агрохимический вестник*, 2016, № 3. – С. 11-14.
2. Суханова И.М., Газизов Р.Р., Биккинина Л.М.-Х., Яппаров И.А. Технология вермикомпостирования как одно из решений экологических проблем // *Агрохимический вестник*, 2015, № 6. – С. 26-28.
3. Алиев Ш.А., Нуриев С.Ш., Ишкаев Т.Х. Сельскохозяйственное использование местных агроруд в земледелии Республики Татарстан. – Казань: РегентЪ, 2002. – 120 с.
4. Алиев Ш.А. Агромелиоранты как средство экологизации земледелия // *Агрохимический вестник*, 2001, № 6. – С. 26-28.
5. Агроминеральные ресурсы Татарстана и перспективы их использования / под ред. А.В. Якимова. – Казань: Фэн, 2002. – 272 с.
6. Алиев Ш.А. Научное обоснование применения местных агроруд в качестве удобрений в земледелии Среднего Поволжья: автореф. дисс. д.с.-х.н. – Немчиновка, 2001. – 40 с.

УДК 631.8

DOI 10.24411/0235-2516-2018-10060

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЛАУКОНИТОВ В ПОСЛЕДСТВИИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Л.М.-Х. Биккинина, к.с.-х.н., И.А. Яппаров, д.б.н., Ш.А. Алиев, д.с.-х.н., В.В. Сидоров
 Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения
 ФИЦ Казанский научный центр РАН, e-mail: liliyaagro@mail.ru

Представлены данные многолетних исследований применения глауконитсодержащих пород при возделывании сахарной свеклы на черноземе выщелоченном. Установлена высокая эффективность глауконитов по фону азотных удобрений, подтверждаемая продуктивностью культуры. Дан сравнительный анализ урожайности и биохимического состава корнеплодов под влиянием глауконитов в последствии на второй и шестой годы эксперимента. Дополнительный урожай сахарной свеклы относительно фона в последствии глауконитов в дозах 15 и 20 т/га на второй год составил 13,8 и 14,7 т/га, а на шестой год – 4,8 и 6,5 т/га. Сахаристость корнеплодов под влиянием агроминерала увеличилась: на второй год – на 8,2 и 11,5%, а на шестой год – на 7,4 и 11,1%. Окупаемость урожая от использования глауконитов в дозах 15 и 20 т/га в пересчете на 1 т составила: на второй год соответственно дозам 1,16 и 0,91 т/га, а на шестой – 0,20 и 0,23 т/га.

Ключевые слова: сахарная свекла, глаукониты, чернозем выщелоченный, минеральные удобрения, урожайность, сахаристость.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF GLAUCONITE IN CONSEQUENCE OF THE CULTIVATION OF SUGAR BEET

Ph.D. L.M.-Kh. Bikkinina, Dr.Sci. I.A. Yapparov, Dr.Sci. Sh.A. Aliev, V.V. Sidorov
Tatar Scientific Research Institute of Agrochemistry and Soil Science
FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, e-mail: niixp2@mail.ru

The data of long-term studies of the use of glauconite-containing rocks in the cultivation of sugar beet in leached chernozem are presented. High efficiency of glauconites on a background of nitrogen fertilizers, confirmed by productivity of culture is established. The comparative analysis of yield and biochemical composition of root crops under the influence of glauconites in the second and sixth years of the experiment is given. An additional harvest of sugar beet in the aftermath of glauconite in the second year was 13.8 and 14.7 t/ha, and for the sixth year – 4.8 and 6.5 t/ha. The sugar content of root crops under the influence of agromineral increased: for the second year – by 8.2 and 11.5%, and for the sixth year – by 7.4 and 11.1%, respectively, doses of 15 and 20 t/ha to the background. The payback harvest from the use of glauconites in doses of 15 and 20 t/ha in terms of 1 t was: the second year – 1.16 and 0.91 t/ha, and the sixth year – 0.20 and 0.23 t/ha, respectively.

Keywords: sugar beet, glauconites, agromineral, mineral fertilizers, productivity, sugar content.

Потенциал урожайности сахарной свеклы находится в прямой зависимости от уровня доступных элементов питания в почве. За длительный вегетационный период эта культура требует значительное количество питательных веществ. По мнению С.П. Кучеренко [1], повышенные нормы минеральных удобрений могут оказать токсическое влияние на молодые растения сахарной свеклы, способствовать увеличению срока созревания корнеплодов и существенному снижению их сахаристости. По мнению И.А. Яппарова и др. [2], для улучшения корневого питания сахарной свеклы и других сельскохозяйственных культур следует рассматривать исследования с применением природных минералов. Среди минералов природного происхождения из группы гидрослюдов существенный интерес представляют глаукониты. В значительных количествах этот агроминерал содержится в кварцево-глауконитовых породах (песках), сопутствующих в ряде случаев месторождениям конкреционных фосфоритовых руд. Запасы природных глауконитсодержащих пород в Российской Федерации составляют порядка 36 млрд. т. Данным сырьевым ресурсом обладает и Республика Татарстан – более 65 млн. т [3, 4].

Цель исследований – изучение влияния кварцево-глауконитового песка (глауконита) в последствии на урожайность и качественные показатели сахарной свеклы.

Объекты и методы. Исследования проводили в 2010-2016 гг. на опытном поле Татарского НИИ агрохимии и почвоведения. Почва – выщелоченный чернозем, среднемощный, тяжелосуглинистый. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-25 см): гумус 6,7%; рН_{KCl} 5,1; подвижный фосфор 121 мг/кг; обменный калий 108 мг/кг; гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований соответственно 4,9 и 49,2 мг-экв/100 г почвы.

Оптимальный режим питания культур в севообороте предусматривал ежегодное внесение расчетной

дозы 90 кг/га почвы аммиачной селитры в действующем веществе с учетом химического состава глауконитов. Глаукониты Сюндюковского месторождения Республики Татарстан заделывали в почву с осени 2010 г. после уборки яровой пшеницы. Полная норма в физической массе составила 15 и 20 т/га.

Химический состав глауконитового песка, %: P₂O₅ 9,7; K₂O 1,8; CaO 28,5; Na₂O 0,5; SiO₂ 24,1; Al₂O₃ 5,4; Fe₂O₃ 7,3; FeO 0,6; MgO 1,2; SO₃ 4,5; SO₄ 0,2; F 1,3; CO₂ 10,3. Минеральный состав, %: глауконит; кварц; полевой шпат и глинистые минералы до 90,0-95,0%; цеолит – 5,0-10,0%.

В качестве объекта исследований была сахарная свекла. В шестилетних исследованиях ее возделывали на второй и шестой годы. Повторность опыта трехкратная, расположение делянок рендомизированное. Площадь делянок 50 м². Агротехника возделывания культуры общепринятая для данной зоны.

В почвенных образцах анализировали содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91); рН_{KCl} (ГОСТ 26483-85); гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); сумму поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88); подвижные соединения фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011).

В корнеплодах определяли содержание азота и фосфора по методу Гинзбург из одной навески мокрым озолением растительного материала, в основу которого положены реакции гидролиза и окисления органических веществ растений смесью серной и хлорной кислот в соотношении 10:1 при нагревании (основным окислителем была хлорная кислота), а также содержание белка (ГОСТ 10846-91) и золы (ГОСТ Р 51418-99).

Экспериментальные данные обработали методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерной программы Excel.

1. Влияние глауконитов в последствии на урожайность сахарной свеклы, т/га

Вариант	2012 г., второй год	Окупаемость урожая 1 т глауконитов	2016 г., шестой год	Окупаемость урожая 1 т глауконитов
Контроль	16,8	-	20,1	-
N ₉₀ – фон	20,4	-	18,3	-
Фон + Глауконит, 15 т/га	34,2	1,16	23,1	0,20
Фон + Глауконит, 20 т/га	35,1	0,91	24,8	0,23
НСР _{0,5}	2,2		2,0	

2. Влияние глауконита на биохимический состав сахарной свеклы, %

Вариант	Азот		Фосфор		Калий	Зола	Сахар	
	2012 г.	2016 г.	2012 г.	2016 г.	2012 г.	2016 г.	2012 г.	2016 г.
Контроль	0,52	0,67	0,55	0,35	1,2	1,7	6,0	5,6
N ₉₀ – фон	0,55	0,87	0,40	0,12	1,3	2,0	6,1	5,4
Фон + Глауконит, 15 т/га	0,60	0,97	0,48	0,30	1,5	1,6	6,6	5,8
Фон + Глауконит, 20 т/га	0,62	1,17	0,54	0,30	1,5	1,7	6,8	6,0

Результаты и обсуждение. Исследования 2012 г. (второй год) показали, что внесение одной аммиачной селитры способствовало повышению урожайности сахарной свеклы на 3,6 т/га, или на 21,4% к контролю. Большое влияние на повышение урожайности культуры оказали глаукониты в сочетании с азотными удобрениями соответственно внесенным дозам 15 и 20 т/га, прибавки урожая корнеплодов в последствии агроминерала относительно контроля составили 17,4 и 18,3 т/га, фона – 13,8 и 14,7 т/га. В процентном отношении почти в 2 раза (табл. 1).

В 2016 г. (шестой год) в результате ежегодного внесения одних азотных удобрений продуктивность сахарной свеклы снизилась на 1,8 т/га, или на 8,9% к контролю. В последствии глауконита в дозах 15 и 20 т/га дополнительный урожай корнеплодов составил 3,0 и 4,7 т/га относительно контроля, или 14,9 и 23,4%, а по сравнению с фоном – 4,8 и 6,5 т/га, или 26,2 и 35,5% соответственно дозам. Таким образом, окупаемость урожая от использования глауконита в дозах 15 и 20 т/га в пересчете на 1 т агроминерала составила: на второй год соответственно 1,16 и 0,91 т/га, а на шестой – 0,20 и 0,23 т/га.

Под влиянием одной аммиачной селитры в корнеплодах сахарной свеклы содержание азота повысилось на 5,8%, калия – на 8,3% и сахара – на 1,7% к контролю. Аналогично культура показала отзывчивость и на использование одних глауконитов, показатели азота были высокими относительно контроля на 15,4 и 19,2%, фона – на 9,1 и 12,7%

соответственно дозам 15 и 20 т/га. По фосфору увеличение составило на 20,0 и 35,0%. Содержание калия в продукции повысилось на 25,0 и 15,4% соответственно к контролю и к фону (табл. 2).

На шестой год под влиянием одной аммиачной селитры, вносимой из года в год, количество азота в корнеплодах возросло на 29,8%, золы – на 17,6% к контролю. Значительное увеличение азота отмечали в последствии глауконита при дозах 15 и 20 т/га на 44,8 и 74,6% к контролю, или на 11,5 и 34,5% к фону. Подобное наблюдали по фосфору, его содержание в продукции относительно фона повысилось более чем в 2 раза. Для биологической спелости сахарной свеклы характерно уменьшение содержания золы, в последствии глауконита, его количество относительно фона снизилось на 20,0 и 15,0% соответственно дозам. Продукция, полученная от совместного использования глауконитов и азотных удобрений, отличалась наибольшей сахаристостью. На второй год содержание сахара возросло на 10,0 и 13,3% к контролю, или на 8,2 и 11,5% к фону, а на шестой – на 3,6 и 7,1% к контролю, или на 7,4 и 11,1% к фону соответственно внесенным дозам 15 и 20 т/га. Эффективность применения глауконита подтверждается существенными прибавками урожая сахарной свеклы, которые составили 4,8-14,7 т/га.

Таким образом, результаты исследований показали высокую эффективность глауконита при возделывании сахарной свеклы.

Литература

1. Кучеренко С.П. Продуктивность и качество сахарной свеклы под влиянием различных условий корневого питания: дисс. к.с.-х.н.: 06.01.09. – Воронеж: ВГАУ, 1999. – 224 с.
2. Яппаров И.А., Лукманов А.А., Яппаров А.Х. и др. Исследования в области нанобиотехнологий в сельском хозяйстве и международное сотрудничество с Социалистической Республикой Вьетнам. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 320 с.
3. Агроминеральные ресурсы Татарстана и перспективы их использования. – Казань: Фэн, 2002. – 272 с.
4. Алиев Ш.А. Научное обоснование применения местных агроруд в качестве удобрений в земледелии Среднего Поволжья: автореф. дисс. д.с.-х.н. – Немчиновка, 2001. – 40 с.

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ БИОГУМУСА И САПРОПЕЛЯ И ИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ АНАЛОГОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ГРЕЧИХИ

¹И.М. Суханова, к.б.н., ²А.А. Лукманов, к.б.н., ¹А.Х. Яппаров, д.с.-х.н., ¹Р.Р. Газизов, к.с.-х.н.

¹Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения
ФИЦ Казанский научный центр РАН, e-mail: niiaxp2@mail.ru

²Центр агрохимической службы «Татарский», e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Проведены исследования по применению наноструктурных суспензий сапропеля и биогумуса при выращивании гречихи. Выявлен характер и степень влияния макро- и наноструктурных суспензий на урожайность и качество гречихи при их использовании для предпосевной обработки семян и некорневой обработке растений в период вегетации, как в виде отдельных суспензий, так и в комплексном применении. Наиболее эффективными для повышения урожайности гречихи были варианты с наносуспензиями биогумуса с сапропелем и с применением биогумуса для обработок семян и растений – 13,16 и 13,30 г/сосуд, прирост к фону 30,82 и 32,21% соответственно. При использовании нанобиогумуса для обработки семян перед посевом и при некорневой подкормке растений гречихи повысились показатели качества урожая: содержание белка до 11,74%, азота – до 2,04%.

Ключевые слова: сапропель, биогумус, наноструктурная суспензия, минеральные удобрения, урожайность, качество зерна.

EVALUATION OF THE ACTION OF BIOHUMUS AND SAPROPEL AND THEIR NANOSTRUCTURAL ANALOGUES ON THE YIELD AND QUALITY OF GREASE

¹Ph.D. I.M. Sukhanova, ²Ph.D. A.A. Lukmanov, ¹Dr.Sci. A.Kh. Yapparov, ¹Ph.D. R.R. Gazizov

¹Tatar Scientific Research Institute of Agrochemistry and Soil Science, FRC Kazan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, e-mail: niiaxp2@mail.ru

²State Center of Agrochemical Service Tatarskiy, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Research has been carried out on the use of nanostructural suspensions of sapropel and biohumus in the cultivation of buckwheat. The nature and degree of influence of macro - and nanostructural suspensions on the yield and quality of buckwheat during their use for presowing seed treatment and foliar treatment of plants during the growing season, both in the form of separate suspensions, and in complex application are revealed. The most effective for increasing crop yields were variants with nanosuspensions of biohumus with sapropel and using biohumus for seed and plant treatments – 13.16 and 13.30 g/vessel, an increase to the background of 30.82 and 32.21% respectively. When using nano-vermicompost for seed treatment before sowing and foliar feeding of buckwheat plants, crop quality indicators increased: the protein content to 11.74%, nitrogen – to 2.04%.

Keywords: sapropel, biohumus, nanostructured suspension, mineral fertilizers, yield, grain quality.

Применение агроминералов, удобрений и стимуляторов роста обусловлено наличием биогенных макро- и микроэлементов, а также высокими ионообменными, сорбционными и каталитическими свойствами [1, 2]. Поэтому для получения безопасной сельскохозяйственной продукции в качестве органического и органоминерального удобрения можно использовать биогумус и агроминерал сапропель [3-8]. Химический состав сапропеля и биогумуса позволяет применять их в сельском хозяйстве в качестве дополнения к основным удобрениям. Учеными изучены различные дозы использования сапропеля и биогумуса для внесения в почву, но данные по применению их наноструктурных составляющих отсутствуют.

Цель исследований – изучение влияния водной органоминеральной суспензии сапропеля и органической суспензии биогумуса и аналогичных наносуспензий при предпосевной обработке семян и некорневой подкормке растений на формирование урожая и качество продукции.

Объекты и методы. Исследования проводили в Татарском НИИХП (2016-2017 гг.) на основе вегетационного опыта с использованием методики Б.А. Доспехова (1985) и компьютерных программ. Объектами были сапропель месторождения озера Белое Республики Татарстан и биогумус производства ООО «Грин-ПИКЪ» в сухом виде и в виде обычных водных и наноструктурных суспензий. Изучаемая культура – гречиха сорта Чатыр-Тай.

Состав сапропеля, % (на сухое вещество): органическое вещество 31,3; pH_{KCl} 7,8; общий азот 1,23; подвижный фосфор 0,45; обменный калий 0,82; оксид кальция 18,9; оксид кремния 11,7; оксид алюминия 5,1; подвижная сера 1,27; железо 2,42; влажность 59. Также в его составе присутствуют микроэлементы (марганец, медь, цинк и др.), не превышающие ПДК.

Состав биогумуса, %: органическое вещество 30; pH_{KCl} 7,5; общий азот 1,85; общий фосфор 1,78; общий калий 2,33; кальций 1,03; влажность 35; комплекс микроэлементов, наличие солей тяжелых металлов незначительное, не превышающее уровень допустимых концентраций [3, 4].

Для получения наноструктурных агроминералов из сапропеля и биогумуса был использован метод ультразвукового воздействия. Исходный порошкообразный минерал помещали в деионизированную воду. Полученную суспензию подвергали ультразвуковому диспергированию, в результате получили взвесь равномерно распределенных частиц агроминерала наноразмерного диапазона в деионизированной воде. Основные процессы, происходящие в субстратах под воздействием ультразвука, представляют диспергирование и гомогенизацию, наблюдающееся в результате разрушения макроагрегатов, сопровождающиеся экстракцией гуминовых веществ и поступлением макро- и микроэлементов из твердой фазы в жидкую. Выделение в раствор гуминовых веществ и микроэлементов способствует повышению усвоения питательных веществ; активному развитию корневой системы; усвоению азота без образования нитратов; ускорению синтеза хлорофилла, сахаров, витаминов, аминокислот. Установлено, что структура и наноструктура агроминералов значительно отличаются, несмотря на близкий химический и минеральный состав [9-11].

Почва – серая лесная среднесуглинистая: содержание гумуса 3,5%; $N_{шел.}$ 128,4 мг/кг; P_2O_5 116 мг/кг; K_2O 114 мг/кг, H_r 1,15 мг-экв/100 г почвы; pH_{KCl} 5,61; сумма поглощенных оснований 20,4 мг-экв/100 г почвы. Повторность трехкратная. В качестве минеральных удобрений (фон) использовали сложное удобрение – азофоску. Схема опыта представлена в таблице 1.

При анализе зерна гречихи использованы методики определения: общего азота, ГОСТ 26107-84; зольности ГОСТ 10847-74; содержания общего азота в зерне, ГОСТ 13496.4-84; азота и сырого протеина ГОСТ Р 51417-99; общего фосфора, ГОСТ 13586-68; общего калия, ГОСТ 13586-68; клетчатки, ГОСТ Р 52839-2007.

Результаты. Данные урожайности показали, что средняя масса зерна составила 5,77-13,3 г/сосуд. Максимальная прибавка урожая гречихи отмечена в вариантах с использованием наносуспензий – обработкой семян и растений комбинированным составом биогумуса и сапропеля и с использованием биогумуса – 13,16 и 13,30 г/сосуд, прирост к фону 30,82 и 32,21% соответственно (табл. 2). Увеличение продуктивности зерна относительно комплексной обработки семян и растений макросуспензиями составило 11,15%. Диффузная пропитка семян наносапропелем и нанобиогумусом увеличила урожайность гречихи по сравнению с аналогичными макросуспензиями на 1,2-19,2%.

От использования сапропеля в виде дражирующей смеси желаемого эффекта не получено, так как она, возможно, тормозила проникновение наноконструкта биогумуса сквозь клеточные мембраны семени. Оболочка в виде биогумуса для наносуспензии сапропеля оказалась более эффективной, предположительно за счет органических ее составляющих, улучшив продуктивность на 19,7%.

1. Схема опыта

1	Контроль без удобрений
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$ – фон
3	Фон + предпосевная обработка семян суспензией сапропеля (Сп) в дозе 1,5 кг/т
4	Фон + предпосевная обработка семян суспензией биогумуса (Бг) в дозе 1,5 кг/т
5	Фон + предпосевная обработка семян суспензиями сапропеля (Сп) в дозе 0,75 кг/т + биогумус (Бг), 0,75 кг/т
6	Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля (НСп) в дозе 1,5 кг/т
7	Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогумуса (НБг) в дозе 1,5 кг/т
8	Фон + предпосевная обработка семян суспензиями наносапропеля (НСп) в дозе 0,75 кг/т + нанобиогумус (НБг), 0,75 кг/т
9	Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля (НСп) в дозе 0,75 кг/т + биогумус* (Бг), 0,75 кг/т
10	Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогумуса (НБг) в дозе 0,75 кг/т + сапропель* (Сп), 0,75 кг/т
11	Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля (НСп) в дозе 1,5 кг/т + некорневая подкормка 0,5% суспензией наносапропеля (НСп)
12	Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогумуса (НБг) в дозе 1,5 кг/т + некорневая подкормка 0,5% суспензией нанобиогумуса (НБг)
13	Фон + предпосевная обработка семян суспензиями биогумуса в дозе 0,75 кг/т + сапропель, 0,75 кг/т + некорневая подкормка суспензиями биогумуса (Бг) (0,25%) + сапропель (Сп) (0,25%)
14	Фон + предпосевная обработка семян суспензиями нанобиогумуса (НБг) в дозе 0,75 кг/т + наносапропель (НСп), 0,75 кг/т + некорневая подкормка суспензиями нанобиогумуса (НБг) (0,25%) + наносапропель (НСп) (0,25%)
* вещество в сухом виде (для дражирования)	

2. Влияние предпосевной обработки семян и некорневой подкормки растений на урожайность гречихи и на химический состав зерна

Вариант	Урожайность, г/сосуд	Прибавка, +/- %		Зола, %	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %
		к контролю	к фону				
1	5,77	-	-	1,76	1,19	0,59	0,14
2	10,06	+74,35	-	1,80	1,44	0,69	0,18
3	10,81	+87,34	+7,46	1,93	1,74	0,80	0,20
4	10,60	+83,71	+5,37	1,88	1,82	0,76	0,19
5	10,91	+89,08	+8,45	1,88	1,99	0,79	0,20
6	10,94	+89,60	+8,75	1,99	1,80	0,86	0,21
7	12,64	+119,06	+25,65	1,92	1,99	0,83	0,20
8	13,00	+125,30	+29,22	2,01	1,79	0,91	0,22
9	12,78	+121,49	+27,04	2,02	1,72	0,90	0,21
10	10,68	+85,10	+6,16	1,85	1,82	0,93	0,23
11	11,96	+107,28	+18,89	1,92	1,62	1,01	0,23
12	13,30	+130,50	+32,21	2,0	2,04	1,02	0,24
13	11,84	+105,20	+17,69	1,90	1,84	0,90	0,22
14	13,16	+128,08	+30,82	2,15	1,99	1,08	0,25
НСР _{0,5}	2,06			0,15	0,44	0,20	0,03

Фоновое внесение удобрений в почву на 74,4% превысило урожайность контроля. Использование суспензий биогумуса и сапропеля в чистом виде было результативно по сравнению с фоном, прибавка составила соответственно 5,4-7,5%. Наносуспензии сапропеля и биогумуса для обработки семян повысили выход зерна относительно фона на 8,7-25,6% соответственно.

Рассматривая химический состав гречихи, отмечено, что комплексное использование органоминеральных наносуспензий увеличило количество минеральных веществ в зерне гречихи до 2,15% (табл. 2). Из обработок семян эффективной была обработка суспензиями наносапропеля совместно с нанобиогумусом, где прирост зольности составил 6,9%. Также высокий процент ее содержания отмечен в варианте с применением наноструктурного сапропеля и биогумуса в качестве дражирующей оболочки. Использование сапропеля в качестве оболочки было менее эффективно. Диффузная пропитка семян наноразмерной суспензией биогумуса повысила содержание золы в зерне на 2,13%, относительно макросуспензии, а использование наносапропеля увеличило показатель на 3,1%. Сочетание обработок нанокомпозитами биогумуса на 6,3% было выше предпосевной обработки чистым биогумусом. Прирост содержания зольных элементов в зерне к показателям фонового и контрольного варианта при комплексе обработок нанобиогумусом и наносапропелем составил 19,4-22,2%.

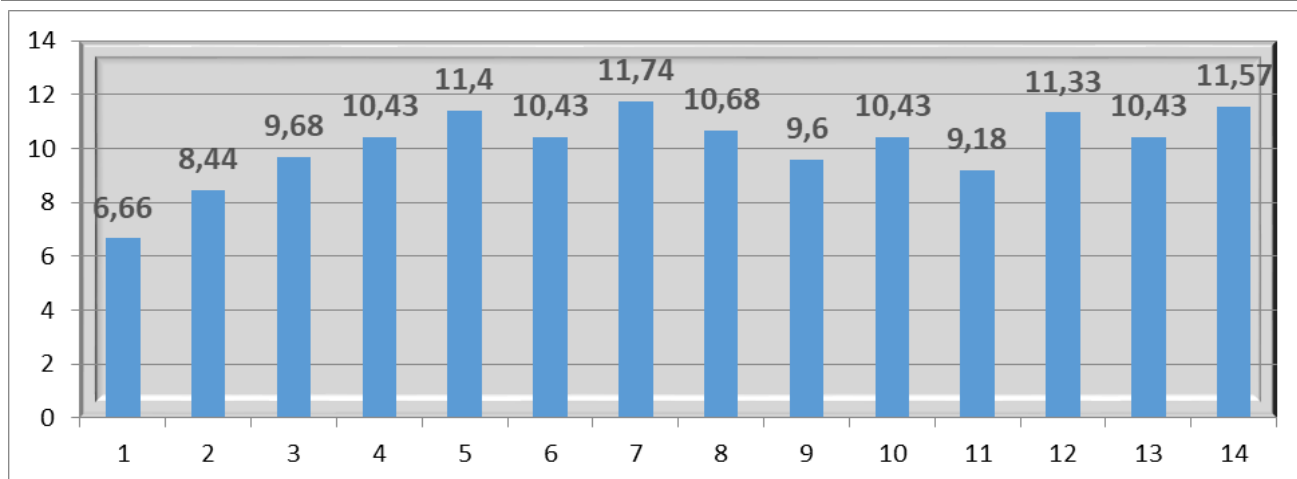
Высокое содержание азота в зерне гречихи отмечено в варианте 12, прибавка к фону и контролю составила 41,7 и 71,4%. Прирост азота к обработке семян наноструктурным биогумусом составил 2,5%, к обработке обычным биогумусом 12,1%. Диффузная пропитка гречихи наносапропелем увеличила содержание азота на 3,4% по сравнению с макроаналогом. Совместное использование нано-

структурных составов сапропеля и биогумуса было менее эффективно для повышения содержания азота, чем использование биогумуса.

Содержание белка в зерне в вариантах с предпосевной обработкой семян суспензиями биогумуса в наноструктурном виде было максимальным и составило 11,74%, прирост к обработке макросуспензией составил 12,6% (рисунок). Варианты с сочетанием суспензий сапропеля и биогумуса в натуральной форме были эффективны в сравнении с отдельно взятыми суспензиями, прибавка белка составила 9,3-17,8%. Дополнительная обработка растений в период вегетации в меньшей степени отразилась на содержании протеина, в приоритете оказалась обработка семян наносуспензией биогумуса, содержание белка составило 11,74%.

В органических удобрениях часть фосфора находится в виде органических фосфатов, поэтому растения оказались отзывчивы к внесению элемента в виде обработок, коэффициент его поглощения был высоким [9]. Использование органических и органоминеральных суспензий наноразмерного диапазона, способствующими максимальному проникновению составляющих, в том числе и фосфора, положительно отразились на содержании элемента. Применение нанокомпозитов биогумуса и сапропеля в комплексе для обработок увеличили количество фосфора в зерне до 1,08%, что на 20% выше аналогичного варианта с обычной суспензией (табл. 2). Сочетание обработок в наноструктурной форме сапропелем повысило показатель с одной обработкой семян на 17,4% и относительно обработки чистым сапропелем на 26,3%. В вариантах с предпосевной обработкой наносуспензией биогумуса прирост фосфора составил 9,2% к использованию для пропитки биогумуса в нативной форме.

Содержание K_2O в опыте составило 0,14-0,25%. Максимальное количество в зерне отмечено в вари-



Количество белка в зерне гречихи, % по вариантам опыта

антах с комбинацией обработок биогуруса и сапропеля в наноструктурной форме. Прирост к комплексным обработкам макросуспензиями составил 13,6%. Превышение к обработке семян наносуспензиями сапропеля и биогуруса составило 19,0 и 25,0% соответственно.

Содержание клетчатки в зерне гречихи находилось в пределах 5,1-9,0%. Наиболее эффективными в ее накоплении были варианты сочетания обработок семян и растений наносуспензиями биогуруса – 9,0%, что на 10,6% выше, чем в варианте с обработкой семян нанобиогурусом и на 14,2% выше показателя с обработкой семян суспензией биогуруса. Комплексное использование обработок наносапропелем и нанобиогурусом также обладало преимуществом по сравнению с применением макроаналогов, прирост составил 11,0%. Внесение ми-

неральных удобрений в качестве фона повысило количество клетчатки в зерне гречихи на 46,8% по сравнению с неудобренным контролем.

Таким образом, применение наноструктурных суспензий сапропеля и биогуруса при их использовании для предпосевной обработки семян и некорневой обработке растений гречихи в период вегетации, как в виде отдельных суспензий, так и в комплексном применении способствовало увеличению и качеству урожая. Оценивая варианты с использованием дражирующих оболочек для наноструктурных суспензий, отмечено, что биогурус способствовал увеличению продуктивности культуры и повышению содержания зольных элементов в зерне, а оболочка сапропеля послужила дополнительным источником поступления элементов минерального питания.

Литература

1. Абузяров Р.Х., Ахметов Ф.Г., Аблямитов П.А. и др. Агроминеральные ресурсы Татарстана и перспективы их использования. – Казань: Фэн, 2002. – 271 с.
2. Ишкаев Т.Х., Яппаров А.Х., Алиев Ш.А. Технологические приемы эффективного использования местных агроминералов в земледелии Республики Татарстан. – Казань: Центр инновационных технологий, 2010. – 112 с.
3. Игонин А.М. Черви – Биогурус – Урожай // Нива Татарстана, 2000, № 4. – С. 29-30.
4. Мерзлая Г.Е., Лежнина А.А., Зябкина Г.А. Агроэкологическая оценка биогуруса // Химия в сельском хозяйстве, 1994, № 4. – С.12.
5. Просянников Е.В. Применение супермолекулярных веществ в растениеводстве // Агрехимический вестник, 2015, № 5. – С.13-17.
6. Schranda A.M. et al. Differential biocompatibility of carbon nanotubes and nanodiamonds // Diamond and Related Materials, 2007, Vol. 16. – P. 2118-2123.
7. Суханова И.М., Газизов Р.Р., Биккинина Л.М.-Х. Влияние биогуруса на агрофизические свойства серых лесных почв / Материалы Всероссийской НПК «Почва – национальное богатство. Пути повышения ее плодородия и улучшение экологического состояния». – Ижевск: ООО Союз оригинал, 2015. – С. 142-148.
8. Суханова И.М., Хисамутдинов Н.Ш., Газизов Р.Р., Биккинина Л.М.-Х. Влияние наноструктурной водно-фосфоритной суспензии на урожайность гречихи // Агрехимический вестник, 2016, № 1. – С. 31-33.
9. Яппаров А.Х., Алиев Ш.А. и др. Научное обоснование получения наноструктурных и нанокомпозитных материалов и технологии их использования в сельском хозяйстве. – Казань, 2014. – 304 с.
10. Яппаров А.Х., Дегтярева И.А., Мотина Т.Ю., Давлетшина А.Я. Влияние комплексного биоудобрения на основе наноструктурной водно-фосфоритной суспензии и консорциума микроорганизмов при выращивании кукурузы // Агрехимический вестник, 2016, № 1. – С. 34-38.
11. Яппаров А.Х., Шаронова Н.Л., Хисамутдинов Н.Ш. Эффективность применения нанопрепарата при малообъемной технологии выращивания огурцов / Достижения и перспективы развития биотехнологии: материалы междунар. науч. конф. (Саранск, 3-5 октября 2012 г.). – Саранск: Типография ООО «ЭМ-ПРИНТ», 2012. – С. 114.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНОСТРУКТУРНОЙ ВОДНО-БЕНТОНИТОВОЙ СУСПЕНЗИИ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

¹Н.Л. Шаронова, к.б.н., ¹Г.Ф. Рахманова, ¹И.А. Яппаров, д.б.н., ²Т.А. Сибгатуллин, к.б.н.

¹Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения
ФИЦ Казанский научный центр РАН, e-mail: niiaxp2@mail.ru

²Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение
ФИЦ «Казанский научный центр РАН», e-mail: sibgatullin@kibb.knc.ru

Проведены исследования биобезопасности и эффективности использования наноструктурной водно-бентонитовой суспензии для предпосевной обработки семян. В процессе оценки действия наноструктурной водно-бентонитовой суспензии на 9 видов тест-растений установлена ее биологическая безопасность в концентрациях 0,25-10,0 кг/т семян. Применение наноструктурной водно-бентонитовой суспензии способствовало повышению полевой всхожести семян вики посевной и люцерны изменчивой до 90,0-91,0%, росту надземной биомассы – до 1,15-1,22 кг/м².

Ключевые слова: наноструктурная водно-бентонитовая суспензия, биобезопасность, вика посевная, люцерна изменчивая, урожайность зеленой массы.

EFFICIENCY OF NANOSTRUCTURED WATER-BENTONITE SUSPENSION FOR PRESOWING SEEDS TREATMENT

¹Ph.D. N.L. Sharonova, ¹G.F. Rakhmanova, ¹Dr.Sci. I.A. Yapparov, ²Ph.D. T.A. Sibgatullin

¹Tatar Scientific Research Institute of Agrochemistry and Soil Science, FRC Kazan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, e-mail: niiaxp2@mail.ru

²Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, e-mail: sibgatullin@kibb.knc.ru

Investigations of biosafety and efficiency of using nanostructured water-bentonite suspension for precise seed treatment were conducted. There were established a biological safety of nanostructured water-bentonite suspension on 9 species of test plants at concentrations of 0.25-10.0 kg/t of seeds. The use of a nanostructured water-bentonite suspension promoted an increase the field germination of vetch and alfalfa seed to 90.0-91.0%, above-ground biomass to 1.15-1.22 kg/m².

Keywords: nanostructured water-bentonite suspension, biosafety, vetch, alfalfa, yield of green mass.

Применение био- и нанотехнологий способно обеспечить устойчивое развитие АПК и получение высококачественных, экологически чистых продуктов питания [1, 2]. Без использования инноваций сельскохозяйственное производство России будет оставаться высокзатратным и проигрывать в конкурентоспособности. Наноматериалы способны оказывать комплексное положительное действие на рост и развитие растительных организмов, повышать их устойчивость к патогенам, стимулировать урожайность и улучшать качество сельскохозяйственной продукции [3-9]. Биологические эффекты наноматериалов представляют большой интерес, поскольку в условиях возрастающего техногенного прессинга крайне важно повысить адаптивный потенциал растений. Для оценки потенциального риска применения новых видов наноматериалов важным этапом является их комплексное тестирование [10]. С помощью метода просвечивающей

электронной микроскопии выявлено проникновение углеродных нанотрубок через клеточную стенку и их накопление в корнях и листьях [11]. Растения могут использовать энергию поступающих извне наночастиц, а наночастицы оказывать пролонгирующее действие, регулируя минеральное питание, углеводный обмен, синтез аминокислот и дыхание клеток [12]. В сельскохозяйственном производстве для улучшения свойств почв, в качестве удобрений, мелиорантов и кормовых добавок широко используют природные нерудные минералы, поскольку в их составе присутствует широкий спектр биогенных макро- и микроэлементов [13, 15].

Цель работы – оценка биобезопасности и эффективности применения наноструктурной водно-бентонитовой суспензии в отношении роста и развития растений.

Объекты и методы исследований. В качестве средств для предпосевной обработки семян расте-

ний использовали бентонит Тарн-Варского месторождения Республики Татарстан и наноструктурную водно-бентонитовую суспензию (НВБС).

НВБС изготавливали согласно методике, предложенной В.О. Ежковым и др. [11]. Химический состав определяли методом количественного спектрального анализа на спектрометре ЭС-1 на базе дифракционного спектрографа ДФС-458С и фотоэлектронного регистрирующего устройства типа ФП-4, оснащенных компьютерной программой, без специальной пробоподготовки. Химический состав бентонита и НВБС представлен следующими соединениями, %: SiO₂ – 66,6; Al₂O₃ – 17,04; Fe₂O₃ – 5,5; K₂O – 2,5; MgO – 1,5; CaO – 0,8; TiO₂ – 0,6; SO₃ – 0,4; Na₂O – 0,2; P₂O₅ – 0,1; MnO – 0,03; органический остаток – 4,7. Соединения кадмия, ртути, мышьяка и свинца отсутствуют. Минеральный состав, %: монтмориллонит – 80,0-82,0; гидрослюда – 6,0-8,0; каолинит – 6,0 и кварц – 5,0-7,0 [16].

Оценку действия наноматериала на растения по морфологическим признакам в ходе тестирования безопасности и мониторинга состояния окружающей среды проводили по МУ 1.2.2968-11 [10]. В лабораторных опытах при биотестировании наноматериалов в качестве тест-культур были использованы семена 9 культурных растений – горох (*Pisum sativum* L.) сорта Кабан, яровая пшеница (*Triticum vulgare* L.) сорта Йолдыз, яровой рапс (*Brassica napus* L.) сорта Юмарт, огурец (*Cucumis sativus* L.) сорта Кураж, кукуруза (*Zea mays* L.) сорта Молдавская 215, гречиха (*Fagopyrum esculentum* Moench.) сорта Саулык, редис (*Raphanus sativus* var. *radicula* Pers.) сорта Ранний красный, овес (*Avena sativa* L.) сорта Конкур, кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) сорта Дукат. Использованные семена принадлежали к одному сорту, соответствовали первому классу, были одного года репродукции. Семена не обрабатывали протравителями.

Бентопорошок и НВБС вводили в цветковые растения путем проращивания семян на чашках Петри, содержащих вещества в виде водной суспензии. Были сформированы следующие варианты: 1 – контроль (без обработки); 2-7 – обработка семян бентопорошком в концентрации 0,25, 0,50, 0,75, 1,25, 5,0 и 10,0 кг/т; 8-13 – обработка семян НВБС в концентрации 0,25, 0,50, 0,75, 1,25, 5,0 и 10,0 кг/т. Для проращивания брали 10 семян. Повторность опыта четырехкратная.

Для оценки повреждающего действия исследуемых веществ на проростки использовали шкалу, представленную в таблице 1.

В полевых опытах при оценке эффективности предпосевной обработки семян НВБС использовали вику посевную (*Vicia sativa* L.) сорта Львовская 22 и люцерну изменчивую (*Medicago × varia* Martyn.) сорта Татарская пастбищная.

Полевые исследования проводили в 2014-2016 гг. на серой лесной среднесуглинистой почве Республики Татарстан: содержание гумуса 3,24%; рН_{KCl} 6,72; гидролитическая кислотность 0,75 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 29,8 мг-экв/100 г почвы; щелочно-гидролизующий азот (по Корнфилду) 102,0 мг/кг; подвижный фосфор 136,0 мг/кг и обменный калий (по Кирсанову в модификации ЦИНАО) 116,0 мг/кг.

Схема опыта: 1) контроль (посев растений без обработки семян); 2) предпосевная обработка семян бентопорошком в дозе 1,25 кг/т; 3) предпосевная обработка семян НВБС в дозе 1,25 кг/т. Учетная площадь делянки составляла 50 м². Размещение вариантов рендомизированное. Повторность трехкратная.

Всхожесть и энергию прорастания семян определяли согласно ГОСТ 12038-84. Фенологические наблюдения вели в соответствии с методическими указаниями [17]. Учет биомассы растений проводили спустя 90 суток после посева по окончании вегетационного периода. Биомассу надземной части определяли методом взвешивания на технических весах после высушивания при комнатной температуре.

Для статистической обработки и оценки результатов использовали метод дисперсионного анализа.

Результаты исследований. При сравнении структуры бентопорошка и НВБС с помощью сканирующего зондового микроскопа установлено, что они существенно отличались по форме, размеру и расположению частиц. Структура бентопорошка была представлена конгломератами частиц полигональной формы с размерами в диапазоне 0,01-2,10 мкм. Их распределение носило хаотичный характер. Частицы НВБС имели неправильную эллипсоидную форму, при этом 80,0-82,0% от общего количества частиц имела размеры 5,0-100,0 нм. Частицы НВБС имели большую удельную площадь, открытые химически активные связи и увеличенную контактную поверхность.

1. Шкала повреждающего действия бентопорошка и наноструктурной водно-бентонитовой суспензии

Определяемые показатели		
(-)	Повреждающее действие отсутствует	Всхожесть семян достигает 90-100%, всходы дружные, проростки крепкие, ровные
(+)	Слабое повреждающее действие	Всхожесть 60-90%, проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные
(++)	Среднее повреждающее действие	Всхожесть 20-60%, проростки по сравнению с контролем короче и тоньше, некоторые проростки имеют уродства
(+++)	Сильное повреждающее действие	Всхожесть семян очень низкая (менее 20%), проростки мелкие и уродливые

При оценке влияния бентопорошка на всхожесть, энергию прорастания и начальный рост проростков в диапазоне концентраций от 0,25 до 10,0 кг/т семян не установлено его повреждающего действия. Всходы в контрольном и опытных вариантах были дружные, проростки крепкие, ровные, без видимых морфологических отклонений в развитии.

В таблице 2 приведены данные по всхожести, длине корней и проростков, биомассе корней и проростков кукурузы. Всхожесть семян кукурузы при обработке бентопорошком составила 90,0-92,0%. При использовании НВБС всхожесть семян возрастала до 97,0% с наилучшими показателями в дозах 1,25 и 5,0 кг/т семян. Увеличение дозы НВБС до 10,0 кг/т не оказывало дальнейшего стимулирующего влияния. В вариантах с НВБС отмечали повышение энергии и быстроты прорастания семян по сравнению с контролем без обработки и предпосевной обработкой семян бентопорошком.

Длина проростков кукурузы при обработке семян бентопорошком варьировала в диапазоне 14,3-14,5 см. При обработке семян НВБС длина проростков увеличивалась на 2,1-16,0%, длина корней – на 5,3-11,7%. Наилучшие показатели выявлены при применении НВБС в дозах 1,25 и 5,0 кг/т семян.

Сырая биомасса проростков кукурузы при обработке семян бентопорошком в исследованных концентрациях составила 4,5-4,8 г, сырая биомасса корней – 5,0-5,2 г. Использование НВБС для обработки семян способствовало формированию большей биомассы как в случае проростков (прирост к контролю составил 6,4-21,3%), так и корней – прирост 13,3-25,0%. Наибольшие значения прироста показателей биомассы отмечены при использовании НВБС в дозах 1,25 и 5,0 кг/т семян. Аналогичные тенденции отмечены при исследовании всхожести семян и начального роста других растений – пшеницы, ржи, ячменя, редиса, гороха, томата, огурца, гречихи.

Всхожесть, энергия прорастания семян, накопление надземной биомассы сельскохозяйственными растениями служат основными показателями эффективности удобрений и стимуляторов роста. В контрольном варианте всхожесть семян вики посевной в первый год исследований составила 83,0%. При предпосевной обработке семян бентопорошком в дозе 1,25 кг/т всхожесть повысилась до 87,0%, а наиболее высокие показатели 90,0% были отмечены при предпосевной обработке семян НВБС в дозе 1,25 кг/т. Энергия прорастания семян повышалась на 3,2 и 9,0%. Полевая всхожесть семян люцерны изменчивой в контроле составила 85,0%. В случае обработки семян люцерны бентопорошком достоверных отличий не обнаружено, в то время как при обработке семян НВБС всхожесть составила 91,0%. Как и при выращивании вики посевной, энергия прорастания семян люцерны повышалась на 3,7 и 10,4%.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием исследуемых растений в фазы всходов и ветвления показали, что растения, полученные из семян, обработанных бентопорошком и НВБС, росли интенсивнее по сравнению с контрольными. В первый год надземная биомасса вики посевной в контроле составила 0,96 кг/м². Предпосевная обработка семян увеличивала фитопродуктивность: прирост к контролю при применении бентопорошка составил 14,6%, НВБС – 19,8%. Во второй и третий годы многолетнее растение люцерны изменчивая формировала большую биомассу, чем однолетний травостой вики. Биомасса растений в контроле соответственно годам составляла 1,06 и 1,10 кг/м². Надземная биомасса люцерны при обработке семян бентопорошком за исследуемый период составила 1,10-1,14 кг/м², прибавка к контролю – 3,8% и 3,6% во второй и третий годы исследований соответственно. НВБС в аналогичной дозе обладал большей стимулирующей активностью. Биомасса рас

2. Влияние разных концентраций бентопорошка и наноструктурной водно-бентонитовой суспензии на всхожесть семян и морфологические показатели проростков кукурузы

Доза, кг/т семян	Всхожесть семян, %		Длина проростков, см		Длина корней, см		Сырая биомасса проростков/корней, г	
	бентопорошок	НВБС	бентопорошок	НВБС	бентопорошок	НВБС	бентопорошок	НВБС
0 (контроль)	91±5		14,4±1,2		17,1±1,7		4,7±0,7 5,2±0,4	
0,25 кг/т	91±2	94±6	14,3±1,1	15,7±1,6	17,0±1,9	18,1±1,7	4,8±0,5 5,0±0,7	5,3±0,7 5,9±0,2
0,50 кг/т	90±5	93±4	14,3±1,0	15,9±1,1	17,3±1,7	18,7±1,9	4,7±0,3 5,2±0,4	5,4±0,4 6,0±0,3
0,75 кг/т	91±4	95±2	14,4±1,4	16,0±1,4	17,3±2,0	18,6±1,6	4,7±0,5 5,1±0,5	5,4±0,3 6,4±0,3
1,25 кг/т	92±3	97±3	14,3±1,3	16,7±1,0	17,3±1,8	19,1±1,5	4,6±0,3 5,2±0,6	5,7±0,3 6,5±0,7
5,0 кг/т	92±6	97±6	14,5±1,2	16,7±1,5	17,1±1,7	19,0±1,6	4,5±0,4 5,2±0,3	5,6±0,1 6,4±0,2
10,0 кг/т	90±3	91±2	14,3±1,0	14,7±1,1	17,1±1,6	18,0±1,3	4,5±0,1 5,1±0,3	5,0±0,2 5,9±0,4

Примечание: значения достоверны при P ≤ 0,05.

тений во второй год составила 1,17 кг/м², что выше контроля на 10,4%; в третий год – 1,22 кг/м², прирост к контролю – 10,9%.

Вынос элементов питания с урожаем зеленой массы растений складывался в соответствии с типом возделываемой культуры и способом обработки семян. При выращивании вики посевной вынос азота с урожаем зеленой массы с 1 га составил 5,0-5,6 кг/т, с наибольшими показателями у растений, семена которых были обработаны НВБС. При выращивании люцерны (второй и третий годы исследований) вынос азота незначительно вырос и составил в среднем 5,3 кг/т в отсутствие обработки семян, при обработке семян бентопорошком 5,6 кг/т и НВБС – 5,7 кг/т. Вынос фосфора при выращивании вики в вариан-

тах без обработки составил 1,4 кг/т, при использовании бентопорошка – 1,6 кг/т, НВБС – 1,7 кг/т. В случае люцерны значения показателя выноса фосфора составили в среднем 1,6 кг/т по всем вариантам. Вынос калия при выращивании растений существенно не менялся и составил в первый год 3,7 кг/т, во второй и третий годы – 3,6 кг/т.

Таким образом, оценка действия НВБС показала ее биологическую безопасность при предпосевной обработке семян вики посевной и люцерны изменчивой. Применение НВБС способствовало повышению полевой всхожести семян, росту надземной биомассы, что обеспечило увеличение урожайности.

Литература

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Новые материалы и нанотехнологии / под ред. Л.М. Гохберга, А.Б. Ярославцева. – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 52 с.
2. Кадомцева М.Е. Био- и нанотехнологии в агропродовольственном комплексе // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки, 2015, № 1. – С. 74-82.
3. Назарова А.А., Полищук С.Д. Нанопорошки металлов-микроэлементов для повышения урожайности и качества свеклы кормовой // Агрехимический вестник, 2018, № 1. – С. 28-30.
4. Imada K., Sakai S., Kajihara H., Tanaka S., Ito S. Magnesium oxide nanoparticles induce systemic resistance in tomato against bacterial wilt disease // Plant Pathol., 2016, V. 65. – P. 551-560.
5. Kumar V., Guleria P., Kumar V., Yadav S.K. Gold nanoparticle exposure induces growth and yield enhancement in Arabidopsis thaliana // Sci. Total Environ., 2013, V. 461-462. – P. 462-468.
6. Sharonova N.L., Yapparov A.K., Khisamutdinov N.S., Ezhkova A.M., Yapparov I.A., Ezhkov V.O., Degtyareva I.A., Babynin E.V. Nanostructured water-phosphorite suspension is a new promising fertilizer // Nanotechnologies in Russia, 2015, Vol. 10, № 7-8. – P. 651-661.
7. Смирнова Е.А., Гусев А.А., Зайцева О.Н. и др. Углеродные нанотрубки проникают в ткани и клетки и оказывают стимулирующее воздействие на проростки эспарцета *Onobrychis Arenaria* (Kit.) Ser // Acta Naturae, 2011, T. 3, № 1. – С. 106-113.
8. Коваленко Л.В., Фолманис Г.Э. Биологически активные нанопорошки железа. – М.: Наука, 2006. – 124 с.
9. Siddiqui M.H., Al-Whaibi M.H., Firoz M., Al-Khaishany M.Y. Role of nanoparticles in plants // Nanotech. Plant Sci., 2015. – P. 19-35.
10. Порядок биологической оценки действия наноматериалов на растения по морфологическим признакам: Методические указания 1.2.2968-11. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 39 с.
11. Ежков В.О., Яппаров А.Х., Нефедьев Е.С., Ежкова А.М., Яппаров И.А., Герасимов А.П. Наноструктурные минералы: получение, химический и минеральный составы, структура и физико-химические свойства // Вестник Казанского технологического университета, 2014, Т. 17, № 11. – С. 41-45.
12. Чурилов Г.И. Эколого-биологические эффекты нанокристаллических металлов: дисс. д.б.н. – Балашиха, 2010. – 332 с.
13. Исследования в области нанобиотехнологий в сельском хозяйстве и международное сотрудничество с Социалистической Республикой Вьетнам / под общ. ред. А.Х. Яппарова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 320 с.
14. Варламова Л.Д., Бахарев А.В., Сергеев В.В. Оценка эффективности кремнийсодержащих минералов при внесении под полевые культуры // Агрехимический вестник, 2017, № 2. – С. 21-24.
15. Яппаров А.Х., Биккинина Л.М.-Х., Яппаров И.А., Алиев Ш.А., Ежкова А.М., Ежков В.О., Газизов Р.Р. Изменение свойств и продуктивности чернозема выщелоченного и серой лесной почвы под влиянием мелиорантов // Почвоведение, 2015, № 10. – С. 1267-1276.
16. Ежкова А.М., Яппаров А.Х., Ежков В.О., Яппаров И.А., Шаронова Н.Л., Дегтярева И.А., Хисамутдинов Н.Ш., Биккинина Л.М.-Х. Изготовление наноразмерного бентонита, изучение его структуры, токсических свойств и определение безопасных доз применения // Российские нанотехнологии, 2015, Т. 10, № 1-2. – С. 96-101.
17. Практикум по физиологии растений: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / под общ. ред. В.Б. Иванова. – М.: Издательский центр «Академия», 2001. – 144 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА ЛЕКАРСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ

¹Н.И. Сидельников, д.с.-х.н., ²Р.Р. Тхаганов, ¹Ф.М. Хазиева, к.б.н.

¹ВНИИ лекарственных и ароматических растений, e-mail: vilar.6@yandex.ru

²Северо-Кавказский филиал ВНИИ лекарственных и ароматических растений,
e-mail: vilar8@rambler.ru

На лекарственных культурах представлены результаты испытаний хелатных микроудобрений, отличающихся по составу микроэлементов и механизму действия. Проведенные исследования показали, что для повышения урожайности лекарственного сырья – травы маклеи сердцевидной (26%), белладонны (26%) и эхинацеи пурпурной (24%) целесообразно применение железосодержащего микроудобрения Феровит; а для корневищ с корнями эхинацеи пурпурной и плодов амми большой – кремнесодержащего микроудобрения Силиплант (30%). Наибольшая эффективность в регуляции роста корневой системы эхинацеи пурпурной наблюдалась при комплексном использовании Силипланта с регулятором роста Циркон, урожайность увеличивалась на 28-30%, содержание оксикоричных кислот – на 5-7%.

Ключевые слова: микроудобрения, *Echinacea purpurea* (L.) Moench, *Macleaya cordata* (Will) R. Br., *Atropa belladonna* L., *Ammi majus* L., урожайность, содержание действующих веществ.

PARTICULARITIES OF MICROFERTILIZERS APPLICATION FOR MEDICINAL PLANTS

¹Dr.Sci. N.I. Sidel'nikov, ²R.R. Tkhaganov, ¹Ph.D. F.M. Khazieva

¹ARSRI of Medicinal and Aromatic Plants, e-mail: vilar.6@yandex.ru

²North Caucasus branch of ARSRI of Medicinal and Aromatic Plants, e-mail: vilar8@rambler.ru

The results of tests of chelated microfertilizers with different microelements composition and mechanism of action are presented on medicinal plants. Microfertilizers promote increase yields of medicinal raw and improvement of its quality. Studies have shown that it is advisable to use iron-containing microfertilizer Ferovit for increasing the yield of *Atropa belladonna* and *Echinacea purpurea* herb; usage of silicon microfertilizer Siliplant has a positive effect on the biological productivity of *Echinacea purpurea* (rhizomes with roots) and *Ammi majus* (fruits). Complex handling *Echinacea* plants by Siliplant with growth regulator Zircon provided an active growth of the root system and increased yield on 28-30%, the content of biologically active substances – 5-7%.

Keywords: microfertilizers, *Macleaya cordata* (Will) R. Br., *Atropa belladonna* L., *Echinacea purpurea* L., *Ammi majus* L., biologically active substances, plant-growth regulators.

Получение стабильных урожаев лекарственного растительного сырья с высоким содержанием действующих веществ тесно связано с разработкой сбалансированной системы питания растений, которая должна основываться не только на применении наиболее востребованных макро- и микроэлементов. От их правильного выбора зависят условия водного и питательного режимов, фитосанитарное состояние посевов, величина и качество урожая [1, 2]. В последние годы для оптимизации минерального питания растений все большее значение приобретают новые формы микроудобрений на основе хелатных комплексов микроэлементов [3, 4]. Хелаты имеют целый ряд преимуществ: они не адсорбируются почвенным поглощающим комплексом, длительное время остаются доступными для растений. Имея хорошую адсорбцию на поверхности листьев при

некорневой подкормке, они легко проникают в растения и активно включаются в реакции обмена веществ. Требования сбалансированного питания лекарственных культур для получения стабильных урожаев высококачественного медицинского сырья предусматривает необходимость научного подхода к выбору микроудобрений. Это обусловлено еще и тем, что для производства лечебных препаратов используются различные виды лекарственного сырья – трава, листья, корни, семена и плоды. При подборе микроудобрений для той или иной лекарственной культуры необходимо учитывать особенности их влияния на растения, так как каждый микроэлемент имеет свои функциональные приоритеты.

Цель исследований – подбор эффективных хелатных микроудобрений для лекарственных культур с различными видами сырья.

Материалы и методы. Исследования по изучению действия микроудобрений проводили во Всероссийском НИИ лекарственных и ароматических растений. Изучали эхинацею пурпурную (*Echinacea purpurea* L.), маклею сердцевидную (*Macleaya cordata* (Will) R. Br.), белладонну (*Atropa belladonna* L.) и амми большую (*Ammi majus* L.). Эти растения обладают иммуностимулирующими, антимикробными, спазмолитическими, седативными, фотосенсибилизирующими свойствами. Широкий спектр их действия связан с наличием в них таких биологически активных веществ, как фенольные соединения, алкалоиды и фурукумарины.

Полевые опыты закладывали в условиях Белгородской области и Краснодарского края путем постановки мелкоделяночных опытов, которые проводили по общепринятым методикам. Почвы Белгородской области представлены типичным черноземом тяжелосуглинистого механического состава. Средневзвешенное содержание гумуса в пахотном слое почв составляет 5,5%, гидролизуемого азота – 169 мг/кг, подвижных фосфора и калия соответственно 137 и 122 мг/кг. Реакция среды близка к нейтральной. Почвы Западного Предкавказья – это выщелоченные черноземы. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 5,0%, общего азота 0,22-0,30%, фосфора (P₂O₅) 9,17-0,22%, калия (K₂O) 1,7-2,1%. Верхние слои почв имеют нейтральную реакцию, рН_{H2O} около 7.

Обработку вегетирующих растений маклеи, эхинацеи и белладонны осуществляли двукратно: первая в фазе отрастания культур, вторая – через 25-30 дней после первого укоса. Норма расхода Феровита 0,5 л/га, Силипланта 0,5 л/га. Некорневые подкормки амми большой Силиплантом проводили в фазе начала формирования цветосных побегов в норме расхода 0,6 л/га. Уборку лекарственного сырья маклеи сердцевидной и белладонны проводили по двухукосной системе: первый укос в фазе бутонизации, второй – после отрастания культуры (август-сентябрь). Плоды амми большой убирали на сырье при созревании 50-60% общего количества зонти-

ков. Площадь делянок 12 м², их размещение рендомизированное. Повторность опытов четырехкратная.

Результаты и обсуждение. Двукратные некорневые подкормки железосодержащим микроудобрением Феровит маклеи сердцевидной и белладонны способствовали усилению роста растений, увеличению площади ассимилирующей поверхности. Это связано с тем, что основной микроэлемент в препарате составляет железо. Именно железу принадлежит особая функция – участие в биосинтезе хлорофилла, в функционировании процесса фотосинтеза, который играет большую роль в жизнедеятельности растительного организма, так как между продуктивностью фотосинтеза растений и урожайностью имеется тесная взаимосвязь [5].

Биометрические наблюдения показали, что в варианте с Феровитом количество листьев на маклее сердцевидной повышалось на 21-25%, число боковых побегов белладонны – на 22-26%. Усиление ростовых процессов привело к повышению урожайности лекарственных культур при первом и втором укосах (рис. 1).

Данные по урожайности маклеи сердцевидной и белладонны по сумме двух укосов представлены в таблице 1. Прибавка урожая на вариантах с применением Феровита у маклеи сердцевидной составила 11,3 ц/га (26%), у белладонны – 7,9 ц/га (24%). Некорневые подкормки способствовали повышению содержания алкалоидов в сырье данных культур на 5-6%. Увеличение содержания действующих веществ и урожайности под влиянием микроудобрения привело к значительному повышению сбора алкалоидов с гектара на 31-32%. Применение Феровита на эхинацее пурпурной также обеспечило усиление роста надземной части растений, их высота превышала контроль на 23%, урожайность – на 26%, увеличение содержания оксикоричных кислот составило 5% (табл. 2).

Анализ структуры урожая лекарственного сырья показал, что на вариантах с Феровитом увеличивается доля листьев по сравнению с контролем. Это служит важным показателем действия препарата,

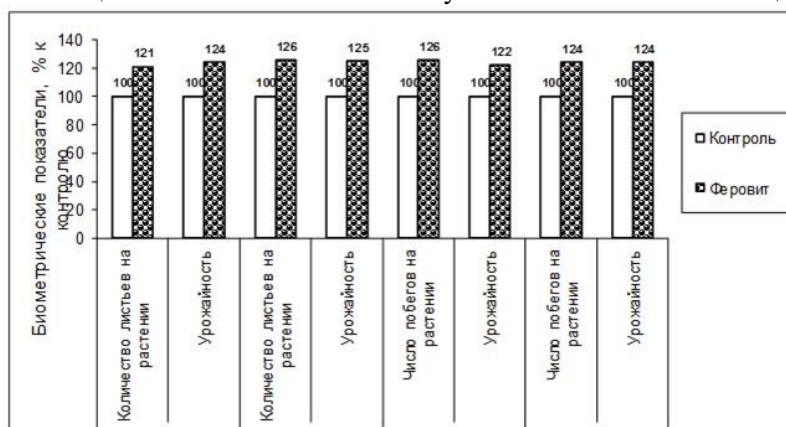


Рис. 1. Влияние микроудобрения Феровит на ростовые процессы и урожайность маклеи сердцевидной и белладонны по отдельным сборам (II-й год вегетации культур)

1. Влияние микроудобрения Феровит на суммарную урожайность и качество сырья маклеи сердцевидной и белладонны (второй год вегетации)

Вариант	Урожайность травы		Содержание алкалоидов, %		Выход действующих веществ с 1 га	
	ц/га	% к контролю	% на абс. сух. в-во	% к контролю	кг/га	% к контролю
Маклея сердцевидная						
Контроль	42,9	100	1,03	100	44,19	100
Феровит	54,2	126	1,08	105	58,54	132
НСР ₀₅	5,21					
Белладонна						
Контроль	33,2	100	0,436	100	14,48	100
Феровит	41,1	124	0,462	106	18,99	131
НСР ₀₅	4,19					

2. Влияние Феровита на рост растений, урожайность и содержание оксикоричных кислот эхинацеи пурпурной второго года вегетации (средние данные за 2 года испытаний)

Вариант	Высота растений		Урожайность травы		Содержание оксикоричных кислот	
	см	% к контролю	ц/га	% к контролю	% на абс. сух. в-во	% к контролю
Контроль	92,3±4,52	100	42,9	100	3,42	100
Феровит	109,1±5,32	118	54,2	126	3,59	105
НСР ₀₅			5,21			

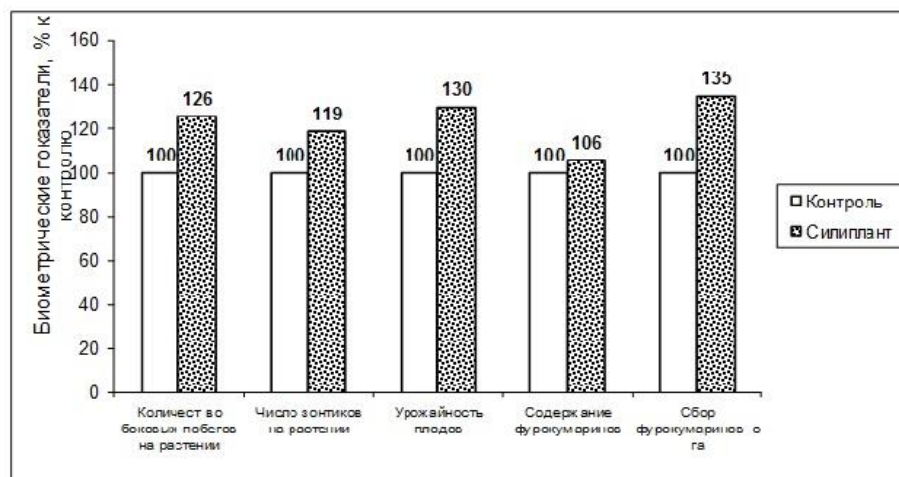


Рис. 2. Влияние Силипланта на ростовые процессы, урожайность, содержание действующих веществ в амми большой

так как именно в листьях синтезируются основные действующие вещества растений.

Каждый микроэлемент имеет свои специфические особенности действия на гормональный баланс. В литературе имеются данные об увеличении содержания ауксинов при применении кремния [6]. Поэтому использование кремнесодержащих микроудобрений за счет усиления синтеза ауксинов будет способствовать активизации фазы цветения растений и сокращению сроков ее прохождения, так как в период перехода растений к образованию генеративных органов снижается содержание данного фитогормона [7].

Характерной особенностью амми большой является высокая продолжительность цветения, что приводит к неравномерности плодообразования и увеличения потерь лекарственного сырья. Поэтому были заложены опыты по испытанию кремнесо-

держащего микроудобрения Силиплант. Некорневые обработки амми большой данным препаратом в фазе бутонизации растений оказали положительный эффект на биометрические показатели: количество боковых побегов возросло по сравнению с контролем на 24-26%, число зонтиков на 16-19%, урожайность плодов на 30%, содержание фурукумаринов на 6%, а их выход с 1 га на 35% (рис. 2).

Рядом исследователей установлено, что усиление синтеза ауксинов под влиянием кремния приводит к стимуляции роста корневой системы [6, 8]. В связи с этим использование микроудобрений с активным кремнием важно при выращивании таких лекарственных культур, где лекарственным сырьем являются корни. К ним относится эхинацея пурпурная, в корнях которой обнаружены оксикоричные кислоты и алкаамиды [9]. На основе корней данного растения создают новые лечебные препараты. Двукратные об-

3. Влияние комплексного применения Силипланта и Циркона на урожайность и содержание действующих веществ в сырье эхинацеи пурпурной (корни) по годам вегетации

Вариант	Урожайность				Содержание оксикоричных кислот			
	III г.в.		IV г.в.		III г.в.		IV г.в.	
	ц/га	% к контролю	ц/га	% к контролю	% на абс. сухое в-во	% к контролю	% на абс. сухое в-во	% к контролю
Контроль	10,2	100	9,8	100	3,85	100	3,91	100
Силиплант	11,7	115	11,4	116	3,87	101	4,00	102
Силиплант + Циркон	13,1	128	12,7	130	4,13	107	4,11	105
НСР ₀₅	1,12		1,05					

работки кремнесодержащим микроудобрением Силиплант эхинацеи пурпурной III и IV годов вегетации обеспечили усиление роста корневой системы и увеличение урожайности на 15-16% (табл. 3).

Наиболее эффективным приемом повышения урожайности и качества лекарственного сырья служит комплексное использование микроудобрений и регуляторов роста [10, 11]. В наших исследованиях использовались двукратные обработки комплексом микроудобрения Силиплант с регулятором роста Циркон, механизм действия которого также связан с регуляцией уровня ауксинов путем ингибирования фермента ауксиноксидазы [12]. В таблице 3 представлены данные по влиянию бинарной смеси вышеуказанных препаратов на урожайность и содержание действующих веществ в корнях эхинацеи пурпурной III и IV годов вегетации. Комплексное применение биорегулятора и микроудобрения по сравнению с контролем

повышало урожайность корневищ с корнями на 28-30% и содержание оксикоричных кислот – на 5-7%.

Выводы. 1. Проведенные исследования показали необходимость включения в технологию выращивания лекарственных культур микроудобрений различного механизма действия, как одних, так и в комплексе с росторегуляторами. 2. Применение железосодержащего микроудобрения Феровит обеспечило повышение урожайности травы маклеи (26%) и белладонны (24%) и выход алкалоидов на 31-32%. 3. Обработка вегетирующих растений амми большой кремнесодержащим микроудобрением Силиплант повышала урожайность плодов на 30%, а также содержание фурукумаринов на 6% и их выход с 1 га на 35%. 4. Комплексное применение микроудобрения Силиплант с регулятором роста Циркон усиливало рост корневой системы эхинацеи пурпурной и повышало урожайность на 28-30% и содержание оксикоричных кислот на 5-7%.

Литература

1. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов: избранные труды. – М.: Наука, 1980. – 430 с.
2. Шедужен А.Х., Хурум Х.Д., Бондарева Т.Н. Физиологическая роль микроэлементов в растениях / «Удобрение и урожай»: материалы региональной научно-практической конференции. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – С. 30-64.
3. Веревкин Е.Л. Биологическая эффективность микроудобрений в хелатной форме // Плодородие, 2006, № 1(28). – С. 21-22.
4. Федотова Л.С., Гордеев Р.В., Егоренко С.А. Эффективность внекорневых подкормок хелатами микроэлементов посевов сахарной свеклы / «Современные технологии и перспективы использования средств защиты растений, регуляторов роста, агрохимикатов в агроландшафтном земледелии»: материалы докладов V семинара-совещания. – Анапа, 2008. – С. 134-136.
5. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза. – М.: Высшая школа, 1997. – 256 с.
6. Сластя И.В., Ложникова В.Н. Влияние кремния на рост растений и баланс эндогенных фитогормонов ярового ячменя // Агрохимия, 2010, № 3. – С. 34-39.
7. Якушкина Н.И., Бахтенко Е.Ю. Физиология растений. – М.: Издательский центр «ВЛАДОС», 2005. – 450 с.
8. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системы почва-растение: автореф. дисс. д.с.-х.н. – Пушино, 2008. – 35 с.
9. Сидельников Н.И., Осипов В.И., Сидельников А.Н., Хазиева Ф.М. Фармакологически активные алкаамиды в сырье эхинацеи пурпурной // Вопросы биологической медицинской и фармацевтической химии, 2015, № 8. – С. 3-8.
10. Быкова О.А., Тропина Н.С. Отзывчивость тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на применение росторегуляторов и микроудобрений в условиях Западного Предкавказья / Материалы 49-й международной конференции молодых ученых, специалистов агрохимиков и экологов. – М.: ВНИИ агрохимии, 2016. – С. 227-230.
11. Мельникова Г.В., Бушковская Л.М., Пушкина Г.П. Применение регуляторов роста и микроудобрений на расторопши пятнистой (*Silibum marianum* L.) / Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине. Сборник научных трудов международной конференции, посвященный 85-летию ВИЛАР. – М., 2016. – С. 266-269.

ТЕЗАУРУС КАК СИСТЕМА ОТРАЖЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА»

Л.Н. Пирумова, к.пед.н., И.А. Милевская

Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, e-mail: pln@cnsnb.ru

Представлены результаты научных исследований по разработке новых элементов общеотраслевых лингвистических средств, обеспечивающих формирование и структурирование баз данных и эффективный поиск в них. Целью работы была актуализация политематического информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию (ИПТ) новой лексикой для обеспечения точного описания предметных областей, унифицированного представления данных, отображения и индексирования документов. Проведено обогащение контента ИПТ в части терминологической области «Регуляторы роста» иерархическими деревьями для обеспечения полноты описания предметной области. ИПТ создается с 1992 г., в 2018 г. его объем составил более 51 тыс. лексических единиц. В ходе исследований выявляли отсутствующую в ИПТ терминологию, в т.ч. на понятия, уже утвердившиеся в современной науке и практике в предметной области «Регуляторы роста». Проведено редактирование словарной статьи в части выявления, добавления и проверки синонимии, парадигматических отношений, построения иерархических деревьев, статуса терминов и их меток. Представлено отражение объектов и связей объектов в данной предметной области в ИПТ ЦНСХБ. Словарные статьи из терминологической области «Регуляторы роста» были отредактированы и пополнены в соответствии с современными научными представлениями об их строении и механизмах действия. Показано, что в словарную статью «Регуляторы роста растений» включены дескрипторы, отражающие современную их классификацию. Сделаны выводы, что создание и развитие ИПТ ЦНСХБ соответствует современному мировому уровню развития тезаурусов; в ИПТ достаточно полно отражена терминология, относящаяся к предметной области «Регуляторы роста», общим объемом 288 лексических единиц; приведенные словарные статьи не противоречат современной классификации регуляторов роста.

Ключевые слова: регуляторы роста, терминология, информационно-поисковые языки, тезаурусы.

THESAURUS AS A REFLECTION SYSTEM OF THE STATE OF SUBJECT AREA «PLANT GROWTH REGULATORS»

Ph.D. L.N. Pirumova, I.A. Milevskaya

Central Scientific Agricultural Library, e-mail: pln@cnsnb.ru

The results of researches on development of new elements of industry-wide linguistic facilities allowing to form, structure databases and effective search in them are presented. The purpose of the work was to actualize the polythematic information retrieval thesaurus in agriculture and foods (IRT) with new lexis to provide exact description of domain areas, reflection of the content of documents, unified representation of data and indexing documents. The content of the IRT was enriched in terms of terminological area «Growth regulators» in hierarchic trees to make the description of the domain area full. The IRT has been created since 1992, in 2018 its volume amounted to 51 thousand lexical items. During the research the terminology absent in the IRT was revealed, including for concepts that have already become firmly established in the modern science and practice in the domain area «Growth regulators». The lexical entry has been revised in terms of revealing, adding and verifying synonymy, paradigmatic relations, building hierarchic tree, status terms and their tags. The reflection of objects and relations of objects in this subject area in the CSAL IRT is presented. Lexical entries from the terminological area «Growth regulators» were revised and replenished in accordance with the modern scientific ideas of their structure and mechanisms of action. It is shown that the lexical entry «Growth regulators» comprised descriptors reflecting their modern classification. Conclusions are made that the creation and development of the CSAL IRT meet the current world level of development of thesauri; in the IRT the terminology relating to the domain area «Growth regulators» having a total volume of 288 lexical items fully enough reflected; the given lexical entries do not contradict with the modern classification of the growth regulators.

Keywords: plant growth regulators, terminology, information-search _____, thesauruses.

Тезаурус – словарь терминов из определенной области знания. В отличие от обычного терминологического словаря тезаурус стремится не только представить все значения понятия, но и с максимальной полнотой отразить его синонимы, а также сведения о его различных связях. Термины, представленные в тезаурусе, содержат информацию о семантических отношениях с другими терминами, включенными в него. Стремление тезауруса как можно полнее представить терминологию по конкретной тематической области оправдывает название «сокровищница» (от греческого *thesaurós* – сокровище, сокровищница). Исследователи рассматривают тезаурус как систему, отражающую состояние знаний ученых и специалистов в конкретной тематической области, поскольку терминология определяет конкретные явления и понятия в науке и производстве, относящиеся к данной научной области, и таким образом описывает ее современное состояние. И наконец, тезаурус – это информационно-поисковый язык, инструмент, предназначенный для индексирования документов и последующего поиска их в информационных массивах. Эти два процесса крайне важны для создания информационных ресурсов и обеспечения в них тематического поиска. В процессе индексирования анализируется и раскрывается смысловое содержание документа, осуществляется его перевод с естественного языка на информационно-поисковый язык с помощью лексических единиц – дескрипторов информационно-поискового тезауруса, определяется место документа в информационно-поисковой системе. Информационно-поисковый тезаурус структурирует информационные массивы, обеспечивая в них релевантный тематический поиск. Он должен максимально полно отражать отраслевую лексику для наиболее адекватного раскрытия смыслового содержания документа и для отображения состояния развития данной отрасли. Если явление появилось недавно, то оно отображается ограниченным количеством научных понятий, но с развитием знаний о нем количество терминов, связанных с ним, увеличивается [1].

Цель работы – актуализация политематического информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию (ИПТ) новой лексикой для обеспечения точного описания предметных областей, отображения содержания документов и эффективного тематического поиска, а также унифицированного представления данных и индексирования документов в автоматизированных информационно-поисковых системах и базах данных. Задача исследования – обогащение контента ИПТ и развитие иерархических деревьев в словарных статьях терминов для обеспечения полноты описания предметной области «Регуляторы роста».

Актуальность работы. ИПТ как терминологический справочник и система знаний, отражающая и

описывающая предметные области, лингвистическое средство формирования, структурирования баз данных и эффективного поиска в них, нуждается в постоянном пополнении новой лексикой, чтобы отражать современный уровень развития аграрной науки.

Методика. Исследования проводили с использованием системы стандартов по информации, библиотечному делу, а также сравнительного анализа, сопоставления, мониторинга, моделирования и синтеза. Методика включала: отбор новых терминов и проверку их на отсутствие в ИПТ; выявление или проверка синонимии; определение или подтверждение статуса термина; установление или проверка парадигматических отношений термина; построение или проверка иерархических деревьев и формирование или редактирование словарной статьи. Место каждой лексической единицы в структуре отношений ИПТ определяется специальными метками или ссылками, такими как: В – вышестоящий термин; Н – нижестоящий термин; А – ассоциации; С – синоним и т.д.

Тезаурус считается наиболее эффективным лингвистическим средством тематического поиска, обеспечивая его точность и полноту. В то же время он наиболее удобен в использовании, т.к. состоит из лексических единиц на естественном языке. В крупнейших международных (AGRIS, CABI, IFIS) и зарубежных (AGRICOLA) базах данных по сельскому хозяйству тезаурусы служат основным лингвистическим средством. ИПТ по сельскому хозяйству и продовольствию является основным информационно-поисковым языком автоматизированной информационно-поисковой системы ЦНСХБ, обеспечивающим релевантный и эффективный тематический поиск. В ЦНСХБ ИПТ разрабатывают с 1992 г., он включает научную лексику по всем отраслям АПК и смежным с ним областям знаний и представляет собой сложную терминологическую систему, между элементами (лексическими единицами) которой существуют различные виды связей – отношения. Объем ИПТ в 2018 г. составил 51839 лексических единиц, в т.ч.: по ветеринарии 9770; пищевой промышленности 6562; защите растений 9353; животноводству 3702; лесному хозяйству 3123; садоводству и плодоводству 3232; генетике и селекции 2187; техническому обеспечению сельского хозяйства 1394; экономике 849; по остальным предметным областям – 11666 лексических единиц [2].

Результаты исследования. Выявлена новая и отсутствующая в ИПТ терминологии на понятия, уже утвердившиеся в современной науке и практике, из предметной области «Регуляторы роста». Из входного документного потока проведен анализ поступивших в ЦНСХБ научных публикаций по предметной области «Регуляторы роста», представленных в отечественных и зарубежных базах данных «АГРОС», AGRIS, AGRICOLA. Проверяли и дополняли синонимичный ряд, иерархические де-

ревя и статус терминов. В целях гармонизации отечественной и международной терминологии изучали словарные статьи из данной предметной области в тезаурусах международных баз данных по сельскому хозяйству: AGROVOC (база данных AGRIS, ФАО ООН) [3] и тезаурус CABI (Информационного бюро по сельскому хозяйству стран Британского содружества) [4]. Разработка ИПТ представляет собой сложный, многоэтапный процесс, в котором, как считают некоторые разработчики, необходимо найти «золотую середину». С одной стороны, набор дескрипторов тезауруса должен быть достаточен для описания документа из предметной области, с другой – дескрипторов не должно быть слишком много, поскольку слишком большая величина тезауруса повышает субъективность индексирования и затрудняет его развитие и использование [5]. Однако чем полнее тезаурус отражает тематическую область, тем большую ценность представляет для специалистов. ИПТ ЦНСХБ стремится к максимально полному отражению отраслевой терминологии для описания различных предметных областей, т.е. позиционируется как классификация знаний по сельскому хозяйству и продовольствию, как словарь нормализованной научной лексики, но при этом развивается и как лингвистическое средство индексирования и эффективного тематического поиска в базе данных «АГРОС».

В ИПТ ЦНСХБ понятие обозначается термином, т.е. термин – это описание языком научной лексики какого-либо понятия из предметной области АПК. Понятие отражает свойства, связи, смысловые отношения конкретного объекта, предмета или явления, которое обозначается термином. В ИПТ термины – это лексические единицы, т.е. отдельные понятия из предметной области представлены определенными лексическими единицами (дескрипторами). В качестве лексических единиц в ИПТ используют одиночные слова (имена существительные), словосочетания, аббревиатуры и сокращения. Ввод одиночных прилагательных, причастий и т.п. не допускается [6]. Одно понятие в ИПТ описано одной лексической единицей – дескриптором, который представлен со всеми отношениями, связывающими его с другими терминами тезауруса [7]. На примере словарной статьи «Регуляторы роста» рассмотрим, как ИПТ ЦНСХБ отражает объекты и связи объектов отдельных областей знания. Регуляторы роста растений – органические соединения, вызывающие стимуляцию или подавление роста и морфогенеза растений. Природные регуляторы роста растений (нередко называемые фитогормонами), синтезирующиеся в растениях, способны действовать в очень малых дозах и передвигаться по растениям, вызывая у них характерные морфофизиологические изменения. Они участвуют в регуляции обмена веществ и формообразо-

вательных процессов, контролируют рост и развитие растений на всех этапах онтогенеза: от эмбриогенеза, регуляции развития отдельных тканей и органов и репродуктивных процессов до защитных реакций на вредителей и патогены, до стрессоустойчивости и т.д. [8].

Словарная статья РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ имеет следующий вид: **V1** Регуляторы роста; **H1** Антиауксины; **H1** Ауксины; **H1** Гаметоциды; **H1** Гиббереллины; **H1** Дефолианты; **H1** Ингибиторы роста; **H1** Ингибиторы этилена; **H1** Неклассифицированные регуляторы роста растений; **H1** Ретарданты; **H1** Стимуляторы роста; **H1** Цитокинины; **H1** Эндогенные регуляторы роста; **H1** Этиленпродукты; **C** Гормоны растений; **C** Фитогормоны; **A** Агат-25К; **A** Агматин; **A** Агрохимикаты; **A** Аминобензойные кислоты; **A** Апикальное доминирование; **A** Ацетальдегид; **A** Биологически активные вещества; **A** Диаминопропан; **A** Диметилсульфоксид; **A** Кукурбиновая кислота; **A** Кумарины; **A** Левулиновая кислота; **A** Мевалоновая кислота; **A** Микробиологические удобрения; **A** Парааминобензойная кислота; **A** Полиамины; **A** Путресцин; **A** Ростстимулирующие ризобактерии; **A** Тиосульфат аммония; **A** Тирамин; **A** Трихлоруксусная кислота; **A** Флавоноиды; **A** Фосфоновая кислота; **A** Хитозан; **A** Янтарная кислота.

В словарную статью включены дескрипторы, отражающие современную классификацию регуляторов роста растений. Важнейшую группу регуляторов роста растений составляют гиббереллины – вещества дитерпеновой природы, самый характерный эффект которых – ускорение роста органов, прежде всего стебля, как за счет деления, так и за счет растяжения клеток [9, 10]. Гиббереллины устраняют физиологическую и генетическую карликовость растений, прерывают покой семян, луковиц и клубней, стимулируют прорастание пыльцы, индуцируют цветение короткодневных видов [11] и вызывают многие другие физиологические изменения у растений. В качестве регулятора роста растений производят гибберелловую кислоту [12] и отечественный препарат Гибберсиб, представляющий собой сумму различных гиббереллинов, получаемую микробиологическим путем [13].

ГИББЕРЕЛЛИНЫ: **V1** Дитерпеноиды; **V1** Регуляторы роста растений; **H1** Гибберелловая кислота; **H1** Гибберсиб; **A** Карбоновые кислоты.

Обширную и чрезвычайно важную группу регуляторов роста растений составляют ингибиторы роста. В отдельную словарную статью выделены ретарданты – биологически активные вещества, способные задерживать процесс роста растительной клетки, которые имеют различную химическую структуру, но обладают одинаковой биологической активностью, выражающейся в задержке деления и растяжения клеток в субапикальной меристеме [14].

В ИПТ разделы, посвященные этим группам соединений, отражены следующим образом.

ИНГИБИТОРЫ РОСТА: **В1** Ингибиторы; **В1** Регуляторы роста растений; **Н1** 2,3,5-Трийодбензойная кислота; **Н1** Абсцизовая кислота; **Н1** Анцимидол; **Н1** Бутралин; **Н1** Глифосин; **Н1** Дикегулак; **Н1** Жасмоновая кислота; **Н1** Изопиримол; **Н1** Ингибиторы прорастания; **Н1** Ингибиторы цветения; **Н1** Карбарил; **Н1** Малеиновый гидразид; **Н1** Мепикват; **Н1** Морфактигн; **Н1** Прогидрожасмон; **Н1** Профам; **Н1** Флуметралин; **Н1** Флуоридамид; **Н1** Фосамин; **Н1** Хлорпрофам; **А** Гербициды; **А** Ксантохины; **А** Ретарданты; **А** Хлорхолинхлорид.

РЕТАРДАНТЫ: **В1** Регуляторы роста растений; **Н1** 2,3-Дихлоризомаляная кислота; **Н1** Амидохлор; **Н1** Даминозид; **Н1** Мефлуцид; **Н1** Паклобутразол; **Н1** Тетциклаис; **Н1** Униконазол; **Н1** Флурпримидол; **Н1** Хлорхолинхлорид; **А** Ингибиторы роста.

К числу основных гормонов растений отнесены цитокинины, производные 6-аминопурина, индуцирующие в присутствии ауксина деление клеток и дифференцировку стеблевых почек у каллюсов, активирующие рост клеток листа, задерживающие старение срезанных листьев травянистых растений [15]. Словарная статья по цитокининам и их синтетическим аналогам представлена в тезаурусе следующим образом.

ЦИТОКИНИНЫ: **В1** Регуляторы роста растений; **Н1** 4-Гидроксифенэтиловый спирт; **Н1** Бензилладенин; **Н1** Бензидазол; **Н1** Дигидрозеатин; **Н1** Дифенилмочевина; **Н1** Зеатин; **Н1** Зеатинрибозид;

Н1 Изопентениладенин; **Н1** Изопентениладенозин; **Н1** Картолин; **Н1** Кинетин; **А** Кинины.

Предметная область «Регуляторы роста» представлена в ИПТ ЦНСХБ 288 терминами, что дает полное представление о ее состоянии и развитии. В процессе актуализации ИПТ проведена редакция и пополнение словарных статей из предметной области «Регуляторы роста» выявленными новыми лексическими единицами (дескрипторами, синонимами), парадигматическими связями. Использование актуализированной новой лексики версии ИПТ в библиотеках отрасли в процессе индексирования документов обеспечивает точность и унификацию отображения содержания документа и представления информации в электронных каталогах и базах данных. Такая детализация словарной статьи позволяет делать узкие тематические запросы по теме «Регуляторы роста» и обеспечивает релевантный поиск в базе данных «АГРОС».

Таким образом, создание ИПТ ЦНСХБ соответствует современному мировому уровню развития тезаурусов и служит эффективным средством индексирования и тематического поиска. В ИПТ достаточно полно отражена терминология, относящая к предметной области «Регуляторы роста»; приведенные в ИПТ словарные статьи не противоречат современной классификации регуляторов роста. Для того, чтобы данная тематическая область в ИПТ отражала новые виды регуляторов роста или их синтетические аналоги необходим постоянный мониторинг научных публикаций по этой теме.

Литература

1. Мдивани Р.Р. О разработке серии тезаурусов по социальным и гуманитарным наукам // Научно-техническая информация. Серия 2, 2004, № 7. – С. 1-9.
2. ИПТ ЦНСХБ [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.cnsnb.ru/jour/user.asp>. – Загл. с экрана.
3. AGROVOC [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://aims.fao.org/vest-registry/vocabularies/agrovoc-multilingual-agricultural-thesaurus>. – Загл. с экрана.
4. САБИ [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.cabi.org/cabthesaurus/>. – Загл. с экрана.
5. Лукашевич Н.В. Тезаурус в задачах информационного поиска. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 512 с.
6. Пирумова Л.Н., Харченко Л.Т. Тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию: индексирование документов и поиск информации в БД АГРОС (Методические материалы). – М.: ЦНСХБ, 2001. – 69 с.
7. Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтология и тезаурус: модели, инструменты, приложения: учеб. пособие. – М.: Интернет-университет информационных технологий. Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 157 с.
8. Захарычев В.В. Фитогормоны, их аналоги и антагонисты в качестве гербицидов и регуляторов роста растений: учеб. пособие. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, Изд. центр, 1999. – 55 с.
9. Jones R.L., Moll C. Gibberellin-induced Growth in Excised Lettuce Hypocotyls // The Biochemistry and Physiology of Gibberellins. – USA: Praeger, 1983, Vol. 2. – P. 95-128.
10. Kaufman P.B., Dayanandan P. Gibberellin-induced Growth in Avena Internodes // The Biochemistry and Physiology of Gibberellins. – USA: Praeger, 1983, Vol. 2. – P. 129-157.
11. Zeevaart J.A.D. Gibberellins and Flowering // The Biochemistry and Physiology of Gibberellins. – USA: Praeger, 1983, Vol. 2. – P. 333-374.
12. Martin G.C. Commercial Uses of Gibberellins // The Biochemistry and Physiology of Gibberellins. – USA: Praeger, 1983, Vol. 2. – P. 395-444.
13. Муромцев Г.С., Агнестикова В.Н. Гиббереллины / отв. ред. С.В. Летунова – М.: Наука, 1984. – 208 с.
14. Шаповал О.А., Вакуленко В.В., Прусакова Л.Д., Можарова И.П. Регуляторы роста растений в практике сельского хозяйства. – М.: ВНИИА, 2009. – 60 с.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ПРООКСИДАНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ *EISENIA FETIDA SAVYGNI*, 1826 ПРИ ВНЕСЕНИИ В ПОЧВУ НАНОЧАСТИЦ ВОЛЬФРАМА

С.В. Лебедев, д.б.н., И.А. Гавриш, Е.А. Сизова, д.б.н., Е.В. Яушева, к.б.н.

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, e-mail: vniims.or@mail.ru

Представлены результаты по изучению влияния нарастающих концентраций наночастиц вольфрама (10, 30, 90 и 120 мг/кг сухого вещества) в искусственной почве на адаптационные способности червей, микробиоценоз кишечника червей и почвы до и после вермикюльтивирования в течение 28 суток. Использовали наночастицы (НЧ) вольфрама (W) размером $50,7 \pm 0,3$ нм, Z-потенциал – $30,00 \pm 0,26$ мВ. Предварительный анализ биологической активности НЧ W *in vitro* проводили в тесте ингибирования бактериальной биолюминесценции. Значения токсикологического параметра EC50 свидетельствовали о высокой токсичности НЧ W в низких дозировках при пролонгированном контакте (0,05 M через 170 мин., 0,0125 M через 180 мин.). Внесение в субстрат аналогичных дозировок НЧ W сопровождалось возрастанием биомассы червя при дозах 30-120 мг/кг. Уровень адаптации организма *Eisenia fetida* выражался в нарастании активности супероксиддисмутазы и снижении уровня каталазы в зависимости от дозовой нагрузки. Уровень белка возрастал во всем диапазоне исследуемых дозировок. При внесении НЧ W в дозировке от 10 до 120 мг/кг зафиксирован бактерицидный эффект, в частности, снижение почвенной микрофлоры на 44,50-82,25%, кишечной микрофлоры *Eisenia fetida* на 25,8-54,2%. В этой связи низкая концентрация W в первичной фазе действует как катализатор биохимических процессов в организме червя, тогда как с нарастанием концентрации W усиливался бактерицидный эффект.

Ключевые слова: наночастицы вольфрама, *Eisenia fetida*, почва, каталаза, супероксиддисмутаза, микроорганизмы.

MICROBIOLOGICAL ACTIVITY AND PROOXIDANT EFFECTS OF *EISENIA FETIDA SAVYGNI*, 1826 IN THE FIELD OF NANOPARTICLES OF TUNGSTEN

Dr.Sci. S.V. Lebedev, I.A. Gavrish, Dr.Sci. E.A. Sizova, Ph.D. E.V. Yausheva

Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of RAS, e-mail: vniims.or@mail.ru

The results of studying the influence of increasing concentrations of tungsten nanoparticles (10, 30, 90 and 120 mg/kg of dry matter) in artificial soil on the adaptive capacity of worms, microbiocoenosis of intestinal worms and soil before and after vermicultivation for 28 days are presented. Tungsten (W) nanoparticles of 50.7 ± 0.3 nM were used, and the Z potential was 30.00 ± 0.26 mV. A preliminary analysis of the biological activity of nanoparticles W *in vitro* was carried out in the inhibition test of bacterial bioluminescence. The EC50 toxicological parameter values indicated a high toxicity of nanoparticles W at low dosages with prolonged contact (0.05 M after 170 min., 0.0125 M after 180 min.). The introduction of similar doses of nanoparticles W into the substrate was accompanied by an increase in the biomass of the worm at doses of 30-120 mg/kg. The level of adaptation of the organism *Eisenia fetida* was expressed in the growth of activity of superoxidizedismutase and decrease in the level of catalase depending on the dose load. The protein level increased throughout the range of dosages tested. At application of nanoparticles W in a dosage from 10 to 120 mg/kg bactericidal effect is fixed, in particular, decrease of soil microflora by 44.50-82.25%, intestinal microflora *Eisenia fetida* by 25.8-54.2%. In this regard, a nanoparticles of W in the primary phase acts as a catalyst for biochemical processes in the body of the worm, whereas as the W concentration increases, the bactericidal effect increases.

Keywords: nanoparticles of tungsten, *Eisenia fetida*, soil, catalase, superoxidizedismutase, microorganisms.

В последние десятилетия наночастицы (НЧ), благодаря своим уникальным характеристикам, таким как размерность до 100 нм, высокая реакционная способность, высокая степень абсорбции и аккумуляции в организме, стали предметом широкого изучения и применения в различных областях науки и техники. В сельском хозяйстве НЧ используют как нанодобreenия, нанопестициды и стимуляторы роста растений [1-4]. Недавние исследования показывают, что производимые наноматериалы, в том числе металлы и их оксиды, имеют разностороннее действие на водные и наземные организмы [5-7], а также на широкий спектр почвенных микро- и макроорганизмов [8, 9]. Среди макрофауны почвы обращают на себя внимание дождевые черви как доминирующие представители почвенного сообщества, к тому же они оказывают влияние на многие организмы, такие как растения [9], микроорганизмы [10] и беспозвоночные [11]. Трофотеаболическая активность дождевых червей во время вермикомпостирования включают в себя не только пищеварение и выделение легкоусвояемых вещества, такие как слизь для микрофлоры [12], но также отбор и транспорт наиболее полезных микроорганизмов в почвенный биоценоз. По этой причине, дождевые черви считаются «инженерами экосистем» [13], а микроорганизмы, в том числе и микроскопические грибы, являются частью рациона дождевых червей [14]. Вышеописанная роль дождевого червя в экосистеме определила его использование в качестве тест-объекта для оценки и прогнозирования риска загрязнения поллютантами, в частности металлами, которые поступая в почву, могут вызвать смертность, снижение рождаемости и роста дождевых червей.

Существует ограниченное число работ о влиянии вольфрама (W) на живые объекты и окружающую среду, и выявляющие преимущественно токсическое действие его соединений [15, 16], но не затрагивающие его наночастицы. Вольфрам относится к 3 классу опасности, его используют для производства ламп накаливания и рентгеновских трубок, а также в качестве альтернативы свинца в рыболовных снастях и пулях для охотничьего и стрелкового оружия. Во многом, биологическое действие вольфрама связано с механизмом его окисления при распределении из почвы в воду. В ходе этого процесса вольфрам способен смешиваться с органическими веществами, присутствующими в природных почвах, образуя токсичные сочетания [15]. Известно, что допустимый порог концентрации W в воде составляет 0,05 мг/дм³, а фоновые концентрации в почве – 10 мг/кг. При этом стоит обратить внимание на тот факт, что для вольфрама не определены ПДК в почве.

Цель исследования – оценка адаптационно-приспособительных особенностей организма червя

Eisenia fetida (*E. fetida*), микрофлоры его кишечника и почвенного микробиоценоза при экспозиции на искусственной почве с различными концентрациями наночастиц W.

Материалы и методы. В исследовании использовали НЧ W, размером 50,7±0,3 нм и дзет-потенциалом – 30,0±0,26 мВ производства ООО «Передовые порошковые технологии» (Россия). Наночастицы получены методом плазмохимического синтеза. Определение дзета-потенциала частиц проводили на анализаторе размеров частиц и дзета-потенциала Photocor Compact-Z (Россия).

Для исследования была подготовлена стандартизированная искусственная почва (OECD, 1984) путем смешивания 70% кварцевого песка, 20% каолина и 10% измельченного торфа (органический азот – 5,8%, рН была скорректирована до 6,0±0,5 порошкообразным карбонатом кальция (CaCO₃)).

Лиозоли наночастиц вольфрама готовили по методу Scott-Fordsmand [17] добавлением испытуемого металла (сухой порошок) в концентрациях 10, 30, 90 и 120 мг/кг в деионизированную воду (10 мл) с последующим диспергированием на ультразвуковом диспергаторе (УЗДН, f-35 кГц, N-300 Вт, Россия) в течение 30 минут. Впоследствии приготовленные лиозоли для каждой повторности и концентрации были смешаны с влажной (40-45%) почвой (500 г), затем доведены дистиллированной водой до влажности 65-70% и перемешаны с помощью миксера.

Предварительную оценку биологической активности НЧ W *in vitro* проводили в тесте ингибирования бактериальной биолюминесценции. Первоначально пробы суспензий наноматериалов для эксперимента готовили в концентрации 4 М (736 мг/мл) для наночастиц и подвергали обработке ультразвуком в течение 30 мин. Для оценки влияния различных доз наноматериалов из полученной суспензии готовили серию последовательно двукратные разведения в трех повторностях.

В качестве объекта воздействия использовали генно-инженерный люминесцирующий штамм *Escherichia coli* K12 TG1, конститутивно экспрессирующий *luxCDABE*-гены природного морского микроорганизма *Photobacterium leiognathi* 54D10, производство НВО «Иммунотех» (Россия, Москва) в лиофилизированном состоянии под коммерческим названием «Эколюм». Тест проводили по общепринятой методике [18].

Результаты влияния наноматериалов на интенсивность бактериальной биолюминесценции оценивали с использованием формулы:

$$I = \frac{I_{k_{\text{омин}}} \times I_{o_{\text{пмин}}}}{I_{k_{\text{пмин}}} \times I_{o_{\text{омин}}}}$$

где *I_k* и *I_o* – интенсивность свечения контрольных и опытных проб на 0-й и n-й минутах измерения. Учитывали 3 пороговых уровня токсичности: меньше 20 – образец «не токсичен» (тушение лю-

минесценции $\leq 20\%$); от 20 до 50 – образец относительно токсичен (тушение люминесценции 50%); равно или больше 50 – образец токсичен (тушение люминесценции $\geq 50\%$).

На основании проведенного теста были определены дозы для вермикомпостирования: 10 мг, 30 мг, 90 мг, 120 мг, соответствующие молярным дозировкам в 0,005 М, 0,015 М, 0,045 М, 0,06 М.

Использованные в исследованиях черви *Eisenia fetida* были приобретены в ООО «БиОЭра-Пенза» и культивированы в питомнике Лаборатории агроэкологии техногенных наноматериалов Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (Оренбург, Россия). Червей культивировали в конском навозе без каких-либо лекарственных препаратов при $22 \pm 2^\circ\text{C}$. В эксперименте использовали червей массой от 350 до 450 мг. Акклиматизацию проводили в течение 3 суток на почвенном субстрате при постоянной температуре 20°C . Перед постановкой на эксперимент червей промывали дистиллированной водой и помещали на 3 суток в пластиковые контейнеры с влажным субстратом из фильтровальной бумаги для очищения пищеварительного тракта [19], затем червей промывали и взвешивали.

Для проведения исследования была отобрана совокупность червей одинаковой массы, из которых были сформированы группы ($n = 10$): 1 группа – культивирование червей с добавлением НЧ W в концентрации 10 мг/кг почвы; 2 – с добавлением НЧ W в концентрации 30 мг/кг почвы; 3 – 90 мг/кг почвы; 4 – 120 мг/кг почвы; 5 (контроль) – культивирование червей без внесения НЧ в субстрат. Для каждой концентрации были использованы пластиковые контейнеры длиной 5 см, шириной 4 см и высотой 4 см. Эксперимент проводили в течение 28 суток, при t воздуха $22 \pm 2^\circ\text{C}$, в пяти повторностях. Взвешивание проводили на 0, 14 и 28 день эксперимента. Выживаемость определяли ежедневно, мертвых особей удаляли из субстрата.

Определение антиоксидантной активности ферментов (каталаза (КТ), супероксиддисмутаза (СОД) червей проводили на 28 сутки эксперимента на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов Randox (США). Готовили вытяжки из червей путем их гомогенизации в буфере (Tris 50 ммоль/л, DTT 1,0 ммоль/л, EDTA 1,0 ммоль/л, сахараза 250 ммоль/л, pH 7,5). Черви были гомогенизированы на гомогенизаторе тканей Tissue Lyser LT, QIAGEN (QIAGEN, Германия). Полученный гомогенат центрифугировали 10 мин при 15000 об/мин, полученный супернатант разбавляли буферной смесью до 10% гомогената.

Оценку влияния НЧ на численность микрофлоры кишечника червей и почвы проводили на 28

сутки. Очищение кишечника червей от пищи осуществляли выдерживанием червей в пластиковом контейнере на влажной фильтровальной бумаге в течение 3 суток. Для выделения кишечников, очищенных от пищи, червей вскрывали с использованием стерильного скальпеля, отделяли кишечник стерильным пинцетом и помещали в стерильную пробирку. Отбор проб почвы осуществляли в стерильные пробирки.

Микробиологические исследования кишечника червей и почвы проводились в первые сутки после отбора проб [20]. Определение общей численности гетеротрофных микроорганизмов посев проводили на мясо-пептонном агаре (МПА). Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, выделяли на крахмал-аммиачном агаре (КАА). Посев микроорганизмов на среду Чапека осуществляли для выделения микроскопических грибов. В среду с МПА и КАА добавляли нистатин для предотвращения роста грибов в концентрации 40 мкг/мл среды, а в среду Чапека – антибиотик пенициллин (50 мкг/мл среды) для предотвращения бактериального роста. Численность бактерий выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г сухой почвы.

Результаты. НЧ W в результате контакта с тест-объектом приводили к полному ингибированию свечения клеток в дозе 1-4 М (184-736 мг/мл) в первые минуты контакта, при дальнейшем разведении в дозе 0,1 М (18,4 мг/мл) через 40 мин., в дозе 0,05 М (9,2 мг/мл) через 170 мин., характеризуя вышеприведенные концентрации как остротоксичные. Увеличение разведения до 0,025-0,00625 М (4,6-2,3 мг/мл) и сроков контакта до 180 мин. приводило к 50% ингибированию биолюминесценции через 145-170 мин. контакта, отмечая дозы как подострой токсичности. Последующие разведения значимого эффекта на динамику свечения не оказывали. Значения токсикологического параметра ЕС50 свидетельствовали о токсичности НЧ W в дозах свыше 0,0125 М. Снижение свечения бактерий при пролонгировании контакта до 180 мин предполагает наличие хронического токсического эффекта НЧ, требующего времени для развития.

На основании проведенного теста были определены дозы для вермикомпостирования: 10 мг, 30 мг, 90 мг, 120 мг, равные молярным дозировкам в 0,005 М, 0,015 М, 0,045 М, 0,06 М, а также соответствующие низкой, средней и высокой степени токсичности.

Обсуждая механизм возможного действия НЧ W, отметим, что главным образом он связан со способностью вызывать одно- и двухпочечные разрывы в молекуле ДНК и оказывать мутагенное действие [21, 22]. При этом в работе [22] показано, что наночастицы соединения вольфрама проявляют мутагенный эффект, в отличие от таких же микроразмерных соединений, что указывает на большую реакционную способность именно наноразмерных веществ по

сравнению с их микроразмерными аналогами. В меньшей степени токсическое действие наночастиц вольфрама объясняется способностью нарушать ферментативные процессы в клетке и оказывать цитотоксический эффект [23-25]. В эффекте токсичности наночастиц вольфрама немаловажную роль может играть развитие окислительного стресса, как было показано для многих наносоединений [26, 27].

На 14 сутки живая масса червя по сравнению с первоначальной массой увеличилась на 16,7%; 15,7%; 25,9% и 15,9% ($p \leq 0,05$) при концентрации НЧ W соответственно 10, 30, 90 и 120 мг/кг СВ (рис. 1).

На 28 сутки, в противовес дозе 10 мг/кг, где наблюдалось снижение массы червей на 6%, в диапазоне концентраций 30-120 мг/кг наблюдалось пропорциональное увеличение массы червей на 7-20% вносимым дозировкам. В целом, по сравнению с предыдущим периодом, на 28 сутки биомасса червей, в основном была меньше, исключение составила дозировка W 120 мг/кг, где было зафиксировано увеличение массы на 20% ($p \leq 0,05$), и на 16% на 14 сутки. Таким образом, стимулирование роста биомассы червей на 14 сутки, связанное с поступлением вольфрама из почвы в низких и средних концентрациях, на 28 сутки сменилось уменьшением биомассы, что может быть связано с высокой степенью отдачи ионов в субстрат и, как следствие, высокой проникающей способностью НЧ через пищеварительный тракт червей. Напротив, высокая концентрация НЧ W (120 мг/кг сухой почвы) оказала меньшую степень влияния, основанную на снижении токсичности данной дозировки в почве, за счет способности НЧ при высоких концентрациях формировать агломераты с низкой подвижностью в почве. Растворенные или твердые частицы некоторых органических веществ, также, могут аккумулировать и сорбировать на поверхности НЧ в составе почвенной матрицы и тем самым снижать их биоактивность [28].

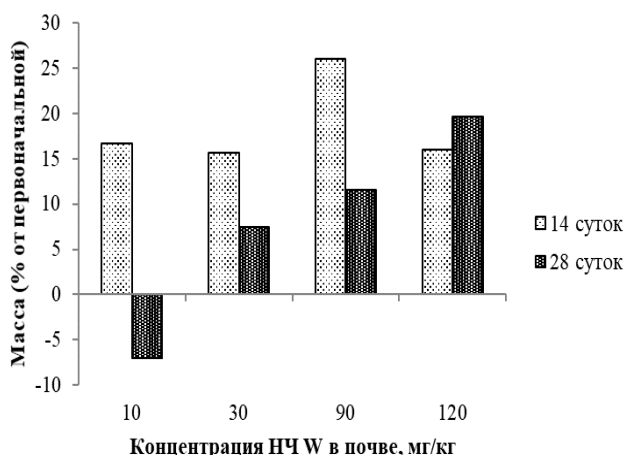


Рис. 1. Изменение массы *E. fetida* при различных концентрациях НЧ W при экспозиции в почве, % от начальной массы

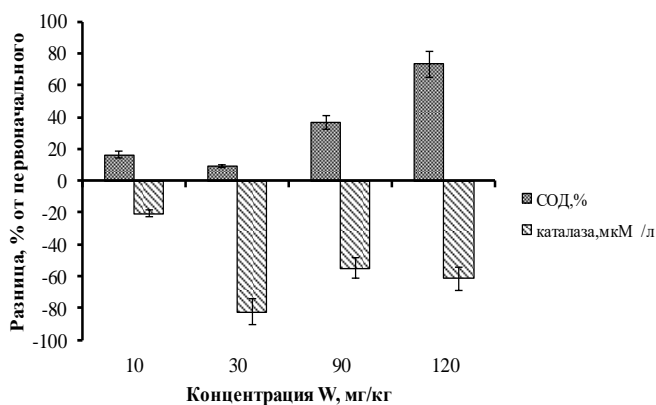


Рис. 2. Разница активности антиоксидантных ферментов, % от контроля

В ходе оценки биотоксичности НЧ W в отношении *E. fetida* исследована активность ферментов антиоксидантной защиты. На 14 сутки активность СОД и КТ была на уровне контроля. На 28 сутки уровень СОД в черве увеличивалась с нарастанием дозы. Дальнейшее увеличение нагрузки до 120 мг/кг приводит к увеличению активности СОД до 85,6%, что выше уровня контроля на 73,2% (рис. 2).

Уровень КТ, как фермента, присутствие которого связано с разложением перекиси водорода на воду и кислород, уменьшался в зависимости от дозовой нагрузки (на 20,7; 82,2; 54,8; 61,5% при дозе соответственно 10; 30; 90 и 120 мг/кг СВ). По участию ферментов в адаптационно-приспособительных реакциях организма червя, можно судить о действии токсического агента в клетках и активации защитных механизмов. Активность СОД в дождевых червях увеличивается с умеренным экологическим стрессом и уменьшается с тяжелой экологической напряженностью. Из этого следует, что антиоксидантный статус организма червя имеет определенную степень толерантности воздействия НЧ W в зависимости от дозы. В тоже время, наночастицы вольфрама оказывали угнетающее воздействие на активность каталазы, что может свидетельствовать о «выключении» данного механизма обезвреживания активных форм кислорода (АФК) и увеличению окислительного стресса.

Известно, что, действуя как первичная система антиоксидантной защиты, КТ и СОД, катализируют преобразование активных форм кислорода в менее активные или инертные виды [29]. В нашем случае с СОД, влияние НЧ W на ее активность в *E. fetida*, сопровождалось увеличением, а в случае с КТ уменьшением ее активности в диапазоне концентраций W от 0 до 120 мг/кг. Результаты по изменению активности антиоксидантных ферментов коррелируют с выживаемостью *E. fetida*. На фоне повышения активности СОД (доза 120 мг/кг), наблюдалось увеличение смертности червей до 10% по сравнению со 100% выживаемостью в других групп-

пах. В тоже время снижение активности каталазы может указывать на ингибирующий эффект НЧ W в отношении данного фермента, что требует проведения исследований.

Способность компонентов почвы вступать во взаимодействие с НЧ металлов, связывать их и снижать биодоступность, нивелирует токсическое НЧ в отношении *E. fetida*. Растворенные или твердые частицы некоторых органических веществ в почве способны агломерировать и сорбировать на поверхности НЧ, связывать в почвенной матрице, тем самым снижая их биоактивность [30].

Интересно отметить, что при разнонаправленной ферментативной активности уровень белка в черве увеличивался с нарастанием дозы НЧ W и составил 0,36; 0,83; 0,99 и 1,5%, в дозах 10, 30, 90 и 120 мг/л, соответственно, по сравнению с уровнем белка 0,34 мг/л в контрольной группе. Увеличение содержания белка (рис. 3) может являться защитным механизмом при стрессе у животных. Исследования [31] на примере Cd показали увеличение содержания протеинов до 65% в тканях дождевых червей. В другой работе [32] также сообщается, что содержание белка увеличивается при экспозиции с низкими концентрациями Cd. В тоже время, авторы приведенных работ отмечают, что нарушение ферментативных процессов в организме может являться одним из механизмов нарушения обмена белка, что может привести к его избыточному накоплению, а также может иметь место включение механизмов защиты червей. Как известно, дождевые черви являются почвенными организмами, которые имеют высокую устойчивость к тяжелым металлам [33]. Таким образом, концентрации W, используемые в данном исследовании, показали стимулирующее влияние на содержание белка.

При внесении в почву вольфрамата натрия в пересчете на 586 мг/кг сухой почвы не наблюдалось статистически значимого влияния на выживаемость и массу червей, тогда как в проведенном нами исследовании

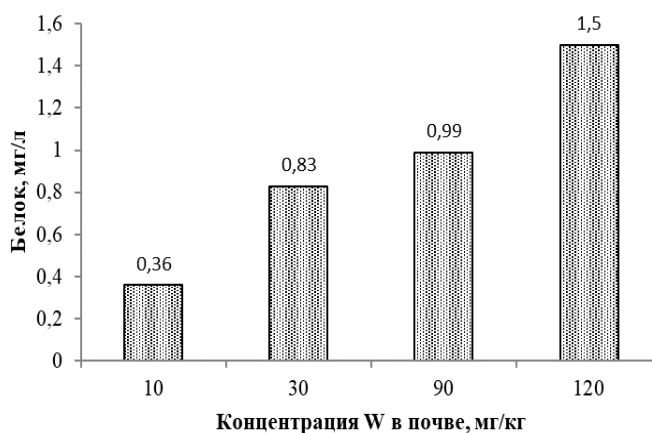


Рис. 3. Содержание белка в тканях *E. fetida* при внесении наночастиц вольфрама в почву

довании получены противоположные результаты, свидетельствующие о потенциальной опасности наночастиц для почвенной биоты.

Результаты количественного учета микроорганизмов почвы и кишечника червей показали, что внесение в почву возрастающего количества наночастиц вольфрама через 28 суток инкубации приводило к изменению численности микроорганизмов, как в кишечнике червей (рис. 4), так и в самой почве (рис. 5).

По мере увеличения концентрации наночастиц вольфрама с 10 до 120 мг/кг отмечалось снижение общей численности гетеротрофных микроорганизмов в почве с вермикомпостированием на 44,5-82,25%, в кишечнике *E. fetida* на 25,8-54,2%.



Рис. 4. Численность микроорганизмов отдельных групп в кишечнике *E. fetida* после 28-суточного культивирования с НЧ W в различных дозировках, % от контроля



Рис. 5. Численность микроорганизмов отдельных групп в почве после 28-суточной инкубации с НЧ W в различных дозировках, % от контроля

Количественный анализ микроорганизмов отдельных групп в контрольных пробах показал доминирование по числовому соотношению бактерий, тогда как численность микроскопических грибов была на несколько порядков ниже. Так, внесение НЧ W снижало численность грибов в почве в первой группе на 20%, второй, третьей и четвертой группах на 28; 32; 40% относительно контроля, соответственно. Анализ количества грибов в кишечнике *E. fetida* контрольной и опытных групп показал снижение их числа на 60; 6% в первой и второй группах, на 33,3; 20% в третьей и четвертой группах, соответственно. В эксперименте было зафиксировано отсутствие устойчивости микроскопических грибов к воздействию НЧ W.

Численность гетеротрофных бактерий, культивируемых на МПА, в контрольных образцах была преобладающей (77,92±7,8% в почве и 49,59±3,71% в кишечнике от общего числа микроорганизмов). С внесением различных концентраций наночастиц вольфрама наблюдалось прямо пропорциональное снижение числа гетеротрофных микроорганизмов. При внесении минимальных доз наночастиц их численность в почве и кишечнике червей снизилась на 55,6 и 27,5% по сравнению с контролем. Дальнейшее увеличение дозы вносимых наночастиц привело к снижению численности в почве на 68,8; 71,1 и 92,2% во второй, третьей и четвертой опытных группах, соответственно, а в кишечнике численность уменьшилась на 40; 70 и 83,7%. Данные наблюдения показали отсутствие резистентности гетеротрофных микроорганизмов к действию НЧ W, притом в почве это явление было выражено сильнее.

Анализ численности бактерий, выросших на КАА (среда, в том числе, для актиномицетов – главных симбионтов дождевых червей), показал, что данная группа изменяла свою численность не так быстро, как две вышеупомянутые категории микроорганизмов. Численность бактерий при воздействии наночастиц вольфрама характеризовалась снижением в почве на 4,3; 21,7; 43,4 и 47,8% соответственно в 1, 2, 3 и 4 группах; в кишечнике *E. fetida* на 41,6; 6,6; 33,3 и 5% в 1, 2, 3 и 4 группах в сравнении с контролем.

Стоит отметить, что исследование численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота и, в особенности, актиномицетов – важный показатель, так как отдельные группы актиномицетов являются типичными симбионтами беспозвоночных, в том числе дождевых червей и принимают участие в преобразовании питательных компонентов почвы [34]. В результате, наблюдалась общая тенденция снижения численности микроорганизмов в почве и кишечнике под действием НЧ W по мере увеличения вносимой дозировки. В тоже время, в почве снижение численности микро-

организмов всех групп было более выраженным, что может свидетельствовать о положительном эффекте вермикультивирования и наличии защитных механизмов червей *E. fetida*. С возрастанием концентрации НЧ W численность микроорганизмов неуклонно снижалась, проявлялся бактерицидный эффект в отношении почвенной и кишечной микрофлоры.

Таким образом, внесение W оказывает угнетающее влияние на почвенный микробиоценоз и микробиоценоз кишечника червей, что может быть обусловлено совокупностью следующих факторов: непосредственным контактом наночастиц вольфрама с клетками микроорганизмов, а также генерацией окислительного стресса под воздействием данных наночастиц.

Результаты работы коррелируют с литературными данными, согласно которым непосредственный контакт НЧ металлов с бактериальными клетками вызывает нарушение целостности бактериальной клеточной мембраны и изменения в работе внутриклеточных систем [35]; таким образом, НЧ металлов способны оказывать бактериостатический и бактерицидный эффекты на клетки микроорганизмов. В другой работе [36] на примере НЧ Cu показана способность проявлять антимикробные свойства по отношению к широкому спектру микроорганизмов, в том числе и патогенным бактериям. Согласно экспериментальным данным, цитотоксичность НЧ Cu обусловлена не только наноразмерностью частиц, высоким значением удельной поверхности и тесным взаимодействием с микробной мембраной, но и образованием выщелоченных медно-пептидных комплексов, за счет которых в несколько раз увеличивается генерация активных форм кислорода, уменьшается жизнеспособность клеток и ингибируется общий рост биомассы [36].

Таким образом, в ходе работы получены новые результаты о биологическом действии НЧ W на морфолого-физиологические показатели красных калифорнийских червей *E. fetida*, а также *in vitro* биолюминесцентную тест-систему «Эколюм» и микробиоценоз кишечника червей и почвы при интродукции в нее НЧ W. Показана необходимость и обоснованность комплексной оценки биотоксичности НЧ в различных средах обитания. При биолюминесцентном анализе установлено, что W оказывает токсичный эффект при моделировании острой токсичности, при этом эффект развивается во времени. В эксперименте подтверждено негативное влияние техногенных наноматериалов на примере W на почвенный микробиоценоз, проявляющийся его обеднением, а следовательно, деградацией и снижением плодородия почв. Данный эффект может быть связан с окислительным стрессом, генерируемым под воздействием НЧ W. Показан положитель-

ный эффект применения вермикомпостирования на примере повышения численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота. НЧ W могут быть признаны потенциально токсичными для живых организмов, что требует разработки мер по биоремедиации загрязненных НЧ W почв. Поэтому, данные работы могут

рассматриваться двояко: результаты могут быть использованы как при разработке технологий восстановления антропогеннонарушенных почв, так и при проведении дальнейших исследований НЧ W как потенциального антимикробного агента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук (№ 0761-2018-0032).

Литература

1. Спиридонов А.Б., Касаткин В.В., Дородов П.В. Дрожирование семян льна-долгунца с использованием электро-технологий и наноудобрений // Научный журнал КубГАУ, 2013, № 92. – С. 447-456.
2. El-Feky S.A., Mohammed M.A., Khater M.S., Osman Y.A., Elsherbini E. Effect of magnetite Nano-Fertilizer on Growth and yield of *Ocimum basilicum* L. // Int. J. Indigenous Med. Plants, 2013, Vol. 46, № 3. – P. 1286-1293.
3. Массалимов И.А. Сравнение биологических свойств наночастиц серы и известных пестицидов // Башкирский химический журнал, 2013, № 3. – С. 142-144.
4. Bala N., Dey A., Das S., Basu R., Nandy P. Effect of Hydroxyapatite nanorod on chickpea (*Cicer arietinum*) plant growth and its possible use as nano-fertilizer // Iran J. Plant Physiol., 2014, Vol. 4, № 3. – P. 1061-1069.
5. Yausheva E., Sizova E., Lebedev S., Skalny A., Miroshnikov S., Plotnikov A., Khlopko Y., Gogoleva N., Cherkasov S. Influence of zinc nanoparticles on survival of worms *Eisenia fetida* // Environ. Sci. Pollut. Res., 2016, Vol. 23, № 13. – P. 13245-13254.
6. Lebedev S., Yausheva E., Galaktionova L., Sizova E. Impact of molybdenum nanoparticles on survival, activity of enzymes, and chemical elements in *Eisenia fetida* using test on artificial substrata // Environ. Sci. Pollut. Res., 2016, Vol. 23, № 18. – P. 18099-18110.
7. Kosyan D.B., Rusakova E.A., Sizova E.A., Yausheva E.V., Miroshnikov S.A. Toxic effect and mechanisms of nanoparticles on freshwater infusoria // International Journal of GEOMATE, 2016, Vol. 11, № 23. – P. 2170-2176.
8. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробсообщества почвы, участвующего в трансформации органического вещества. – Нижний Новгород: НГСХА, 2012. – 64 с.
9. Brown G.G., Barois I., Lavelle P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains § // European Journal of Soil Biology, 2000, T. 36, № 3-4. – P. 177-198.
10. Lavelle P. et al. Mutualism and biodiversity in soils // The significance and regulation of soil biodiversity. – Springer, Dordrecht, 1995. – P. 23-33.
11. Lavelle P. Diversity of soil fauna and ecosystem function // Biology International, 1996, T. 33. – P. 3-16.
12. Brown G.G. et al. How earthworms affect plant growth: burrowing into the mechanisms // Earthworm ecology, 2004, T. 2. – P. 13-49.
13. Jones D.R. et al. Circulation in the gippsland giant earthworm *Megascolides australis* // Physiological Zoology, 1994, T. 67, № 6. – P. 1383-1401.
14. Edwards C.A. The importance of earthworms as key representatives of the soil fauna // Earthworm ecology, 2004, T. 2. – P. 3-11.
15. McInturf S.M., Bekkedal M.Y.V., Wilfong E., Arfsten D., Chapman G., Gunasekar P.G. The potential reproductive, neurobehavioral and systemic effects of soluble sodium tungstate exposure in Sprague-Dawley rats // Toxicol. Appl. Pharmacol., 2011, Vol. 254, № 2. – P. 133-137.
16. Wen-jie L. Characterization of Heavy Metals Contamination and Physicochemical Properties of Soils in Lianhuashan Tungsten Mine Area of Guangdong Province // Chinese Journal of Soil Science, 2014, Vol. 1. – P. 1040.
17. Scott-Fordsmann J.J. et al. The toxicity testing of double-walled nanotubes-contaminated food to *Eisenia veneta* earthworms // Ecotoxicology and Environmental Safety, 2008, T. 71, № 3. – P. 616-619.
18. Deryabin D., Aleshina E. Development of the novel luminescent screening assay for nanocarbon biotoxicity detection // Luminescence, 2010, Vol. 25, № 2. – P. 122.
19. Dalby P.R., Baker G.H., Smith S.E. «Filter paper method» to remove soil from earthworm intestines and to standardize the water content of earthworm tissue // Soil Biology and Biochemistry, 1996, T. 28, № 4-5. – P. 685-687.
20. Методы почвенной микробиологии и биохимии: учебное пособие / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
21. Thongkumkoon P., Sangwijit K., Chaiwong C., Thongtem S., Singjai P., Yu L. D. Direct nanomaterial-DNA contact effects on DNA and mutation induction // Toxicol. Lett., 2014, Vol. 226, № 1. – P. 90-97.
22. Hasegawa G., Shimonaka M., Ishihara Y. Differential genotoxicity of chemical properties and particle size of rare metal and metal oxide nanoparticles // J. Appl. Toxicol., 2012, Vol. 32, № 1. – P. 72-80.
23. Allard P., Darnajoux R., Phalyvong K., Bellenger J. P. Effects of tungsten and titanium oxide nanoparticles on the diazotrophic growth and metals acquisition by *Azotobacter vinelandii* under molybdenum limiting condition // Environ. Sci. Technol., 2013, Vol. 47, № 4. – P. 2061-2068.

24. Vargas-Reus M. A., Memarzadeh K., Huang J., Ren G. G., Allaker R. P. Antimicrobial activity of nanoparticulate metal oxides against peri-implantitis pathogens // *Int. J. Antimicrob. Agents*, 2012, Vol. 40, № 2. – P. 135-139.
25. Syed M.A., Manzoor U., Shah I., Bukhari S. H. Antibacterial effects of Tungsten nanoparticles on the Escherichia coli strains isolated from catheterized urinary tract infection (UTI) cases and Staphylococcus aureus // *New Microbiol.*, 2010, Vol. 33, № 4. – P. 329-335.
26. Leung Y.H., Ng A.M.C., Xu X., Shen Z., Gethings L.A., Wong M.T., Chan C.M.N., Guo M.Y., Ng Y.H., Djurišić A.B., Lee P.K.H., Chan W.K., Yu L.H., Phillips D.L., Ma A.P.Y. Leung F.C. Mechanisms of Antibacterial Activity of MgO: Non ROS Mediated Toxicity of MgO Nanoparticles Towards Escherichia coli // *Small*, 2014, Vol. 10, № 6. – P. 1171-1183.
27. von Moos N., Slaveykova V.I. Oxidative stress induced by inorganic nanoparticles in bacteria and aquatic microalgae-state of the art and knowledge gaps // *Nanotoxicol.*, 2014, Vol. 8, № 6. – P. 605-630.
28. Ghosh S., Mashayekhi H., Pan B., Bhowmik P., Xing B. Colloidal behavior of aluminum oxide nanoparticles as affected by pH and natural organic matter // *Langmuir.*, 2008, Vol. 24, № 21. – P. 12385-12391.
29. Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Бизенкова М.Н. Молекулярно-клеточные механизмы инактивации свободных радикалов в биологических системах // *Успехи современного естествознания*, 2006, № 7. – С. 29-36.
30. Tourinho P.S., Van Gestel C.A., Lofts S., Svendsen C., Soares A.M., Loureiro S. Metal-based nanoparticles in soil: Fate, behavior, and effects on soil invertebrates // *Environ. Toxicol. Chem.*, 2012, Vol. 31, № 8. – P. 1679-1692.
31. Gruber C., Stürzenbaum S., Gehrig P., Sack R., Hunziker P., Berger B., Dällinger R. Isolation and characterization of a self-sufficient one-domain protein. (Cd)-metal-lanthionein from Eisenia foetida // *Eur. J. Biochem.*, 2000, № 267. – P. 573-582.
32. Li M., Liu Z., Xu Y., Cui Y., Li D., Kong Z. Comparative effects of Cd and Pb on biochemical response and DNA damage in the earthworm Eisenia fetida (Annelida, Oligochaeta) // *Chemosphere*, 2009, Vol. 74, № 5. – P. 621-625.
33. Vandecasteele B., Samyn J., Quataert P., Muys B., Tack F. M. G. Earthworm biomass as additional information for risk assessment of heavy metal biomagnification: a case study for dredged sediment-derived soils and polluted floodplain soils // *Environ. Pollut.*, 2004, № 129. – P. 363-375.
34. Бызов Б.А., Нечитайло Т.Ю., Бумажкин Б.К., Кураков А.В., Гольшин П.Н., Звягинцев Д.Г. Культивируемые микроорганизмы из пищеварительного тракта дождевых червей // *Микробиология*, 2009, т. 78, № 3. – С. 404-413.
35. Li H., Chen Q., Zhao J., Urmila K. Enhancing the antimicrobial activity of natural extraction using the synthetic ultrasmall metal nanoparticles // *Sci. Rep.*, 2015, Vol. 5. – P. 11033.
36. Xiong L., Tong Z.H., Chen J.J., Li L.L., Yu H.Q. Morphology-dependent antimicrobial activity of Cu/Cu_xO nanoparticles // *Ecotoxicol.*, 2015, Vol. 24, № 10. – P. 2067-2072.

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

17 января 2019 г. в 15:00 в здании администрации городского округа Серебряные Пруды: 142970, Московская обл., р.п. Серебряные Пруды, ул. Первомайская, д. 11 состоится общественные обсуждения (в форме слушаний), с гражданами и общественными организациями объектов Государственной экологической экспертизы – материалов проектно-технической документации (ПТД), включая ТЗ и проектов материалов ОВОС на **агрохимикаты: Удобрение азотное жидкое (N:S) марки: 23:3, 26:2, 29:1**, регистрант ПАО «КуйбышевАзот»; **Удобрение азотно-фосфорно-калийное марки: А, Б**, регистрант АО «ОХК «УРАЛХИМ».

Общественные обсуждения (в форме слушаний) материалов ПТД указанных агрохимикатов проводятся с целью прохождения в течение четырех месяцев Государственной экологической экспертизы и последующей Государственной регистрации агрохимикатов, которые будут использоваться на всей территории Российской Федерации.

Объекты ГЭЭ материалов ПТД агрохимикатов рекомендуются к применению на территории России. Материалы ПТД объектов Государственной экологической экспертизы агрохимикатов представляет «ООО НПО Агрохимсоюз»: г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2. Копии материалов ПТД объектов Государственной экологической экспертизы на агрохимикаты доступны для рассмотрения с **17 декабря 2018 г. по 18 февраля 2019 г.** с 10:00 до 15:00 в ООО «Сельхозхимия», 142970, р.п. Серебряные Пруды, ул. Мичурина, д. 1. Тел.: 8 496 673 14 45. Письменные предложения направлять в ООО «Сельхозхимия». Приглашаются все желающие. При себе иметь паспорт. Проведение общественных обсуждений обеспечивает вышеуказанная организация совместно с Администрацией городского округа Серебряные Пруды Московской области.