

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 2(47)
Июль – декабрь 2011 г.**

Минск
2011

УДК 631.4+631.8(476)
ББК 40.4+40.3(Бел)

Учредитель: Республиканское научное дочернее унитарное предприятие
«Институт почвоведения и агрохимии»

Свидетельство № 721 от 6 октября 2009 г.
Министерства информации Республики Беларусь

Главный редактор *В.В. ЛАПА*

Редакционная коллегия: М.В. Рак (зам. главного редактора)
А.Ф. ЧЕРНЫШ (зам. главного редактора)
Н.Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

Н.Н. БАМБАЛОВ, И.М. БОГДЕВИЧ, И.Р. ВИЛЬДФЛУШ,
С.Е. ГОЛОВАТЫЙ, А.И. ГОРБЫЛЕВА, С.А. КАСЬЯНЧИК,
Н.В. КЛЕБАНОВИЧ, Н.А. МИХАЙЛОВСКАЯ,
Г.В. ПИРОГОВСКАЯ, Т.М. СЕРАЯ, Г.С. ЦЫТРОН

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

2(47)

Январь – июнь 2011 г.

Основан в 1961 г. как сборник научных трудов «Почвоведение и агрохимия»,
с 2004 г. преобразован в периодическое издание – научный журнал
«Почвоведение и агрохимия»

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 62
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02
E-mail brissainform@mail.ru

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения
и агрохимии», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Лапа В. В. Система управления плодородием почв в Республике Беларусь 7

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Черныш А. Ф., Устинова А. М., Юхновец А. В., Клус А. А. Влияние типов севооборотов на структурно-агрегатный состав дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных сугглинках..... 15

Цытрон Г. С., Шибут Л. И. Совершенствование системы поправочных коэффициентов для оценки земель в Беларуси 22

Цыбулько Н. Н., Ермоленко А. В., Лазаревич С. С. Влияние систем обработки на физические свойства дерново-подзолистых супесчаных почв и урожайность сельскохозяйственных культур 30

Горбачёва Е. Н. Применение универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при оценке интенсивности водноэрозионных процессов на основе ГИС... 42

Лихацевич Н. А., Качков Ю. П., Черныш А. Ф. Типология дефляционноопасных земель Полесья и их использование 52

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Мезенцева Е. Г., Бирюков Р. Н. Изменение фракционно-группового состава гумуса дерново-подзолистых легкосуглинистой и супесчаной почв под влиянием разных систем удобрения 62

Серая Т. М., Бирюкова О. М., Богатырева Е. Н., Мезенцева Е. Г., Бирюков Р. Н. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве 70

Лапа В. В., Ивахненко Н. Н., Ломонос М. М., Бачище А. А., Шумак С. М., Грачева А. А. Продуктивность и качество клевера лугового при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве..... 78

Лапа В. В., Ломонос М. М., Кулеш О. Г., Лопух М. С., Ломонос О. Л. Продуктивность и кормовая ценность зелёной массы клевера лугового на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 87

Рак М. В., Барашкова Е. Н. Эффективность борных удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур при разной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы бором 96

Рак М. В., Титова С. А., Барашкова Е. Н. Влияние микроудобрений МикроСтим и МикроСил на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы..... 107

Михайловская Н. А., Богдевич И. М., Погирницкая Т. В., Василевская О. В. Ферментативная активность дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы при разной обеспеченности подвижным калием 112

Михайловская Н. А., Миканова О., Барашенко Т. В., Тарасюк Е. Г., Дюсова С. В. Свойства фосфатмобилизующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах..... 120

Таврыкина О. М., Довнар В. А. Вынос радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы различными сортами овса 130

| | |
|--|-----|
| Головатый С. Е., Ковалевич З. С., Лукашенко Н. К., Ефимова И. А., Сидорейко Н. В. Влияние натрия и хлора на урожайность и химический состав райграса однолетнего | 140 |
| Пироговская Г. В., Сазоненко О. П. Миграция и баланс азота в дерново-подзолистых почвах при разных уровнях применения азотных удобрений (по данным лизиметрических исследований РУП «Институт почвоведения и агрохимии» | 149 |

ЮБИЛЕИ

| | |
|---|-----|
| Лапа В. В., Цытрон Г. С. Академик Николай Иванович Смян (к 80-летию со дня рождения) | 165 |
| Рефераты | 168 |
| Правила для авторов | 175 |

CONTENTS

| | |
|--|---|
| Lapa V. V. System of soil fertility management in the Republic of Belarus | 7 |
|--|---|

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

| | |
|--|----|
| Chernysh A. F., Ustinova A. M., Yukhnovets A. V., Klus A. A. The influence of crop rotation types on structurally-modular composition of sod-podzolic soils, formed on less loams | 15 |
| Tsytron G. S., Shibut L. I. Improving the system of correction factors for land assessment in Belarus | 22 |
| Tsybulko N. N., Ermolenko A. V., Lazarevich S. S. Influence of processing systems on physical properties of dernovo-podsolic sandy soils and productivity of agricultural crops..... | 30 |
| Gorbacheva E. N. Rusle model implementation for estimation intensivity of water erosion proceses on soil cover | 42 |
| Lihatsevich N. A., Kachkov J. P., Chernysh A. F. Tipology of wind erosion dangerous lands of Polesye and their use | 52 |

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

| | |
|--|-----|
| Bogatyrova E. N., Seraya T. T., Biryukova O. M., Mezentsava E. G., Biryukov R. N. Change of factional-group humus composition on sod-podzolic light loamy and sandy-loam soils under influence of the different fertilizer systems..... | 62 |
| Seraya T. M., Biryukova O. M., Bogatyrova E. N., Mezentsava E. G., Biryukov R. N. Comparative efficiency of organic and mineral fertilizers on son-podzolic sandy soil | 70 |
| Lapa V. V., Ivakhnenko N. N., Lomonos M. M., Shumak S. M., Bachyshcha A. V., Grachova A. A. Productivity and quality of meadow clover at cultivation on luvisol loamy sand soil..... | 78 |
| Lapa V. V., Lomonos M. M., Kulesh O. H., Lopuh M. S., Lomonos O. L. productivity and fodder value of green weight of a clover meadow on podzoluvisol loam soil..... | 87 |
| Rak M. V., Barashkova E. N. Efficiency outside root application of agricultural cultures by boric fertilizer in relation to b-status of podzoluvisol loamy sand soil..... | 96 |
| Rak M. V., Titova S. A., Barashkova E. N. Effect of micronutrients MicroStiem and MicroSil on yield and quality of sugar beet..... | 107 |
| Mikhailouskaya N. A., Bogdevitch I. M., Pogirnitskaya T. V., Vasilevskaya O. V. Enzymatic activity of luvisol loamy sand soil under different mobile potassium supply | 112 |
| Mikhailouskaya N. A., Mikanova O., Barashenko T. B., Tarasiuk E. G., Duysova S. V. Properties of phosphorus-mobilizing bacteria and their effect on cereal crop yields on luvisol loamy sand soils..... | 120 |
| Tavrykina O. M., Dovnar V. A. Removal of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr by oats from the sod-podzolic loamy sand soil | 130 |

| | |
|---|-----|
| Golovatyi S. E., Kovalevitch Z. S., Lukashenko N. K., Efimova I. A., Sidoreiko N. V. Influence of sodium and chlorine on productivity and chemical compound of <i>Lolium westerwoldicum</i> | 140 |
| Pirogovskaia G. V., Sazonenko O. P. Nitrogen migration and balance in sod-podzolic soils with different levels of application of nitrogen fertilizer (according to the data of lysimetric research «Institute of soil science and agrochemistry..... | 149 |

OUR JUBILEES

| | |
|--|-----|
| Lapa V. V., Tsytron G. S. The academician Nicolai Ivanovich Smeyan (to the 80-th birthday | 165 |
| Summaries | 168 |
| Rules for authors | 175 |

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В. В. Лапа

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

Плодородие почв, его сохранение и повышение, экологическое состояние, поддержание благоприятных агрофизических и биологических свойств является одной из важнейших задач аграрной отрасли Республики Беларусь. Почвенные ресурсы являются основой сельскохозяйственного производства, продовольственной безопасности и потому составляют главное богатство нашей страны. В Республике Беларусь преобладают дерново-подзолистые почвы, которые в своем естественном состоянии характеризуются кислой реакцией и низкой обеспеченностью элементами минерального питания, не вполне благоприятными агрофизическими свойствами. Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур на таких почвах возможно только при условии применения всех агротехнических и агрохимических приемов окультуривания, т. е. нейтрализации почвенной кислотности, применения органических удобрений в объемах, обеспечивающих положительный баланс гумуса и минеральных удобрений в дозах, компенсирующих вынос элементов питания и частичное накопление их в почвах [1, 2].

Учитывая все указанные выше факторы, в республике, начиная с 1967 года, была принята программа интенсивной химизации, в рамках которой была создана Государственная агрохимическая служба, на которую были возложены задачи по крупномасштабному агрохимическому обследованию почв с периодичностью один раз в 4-5 лет, проведение известкования кислых почв, научно-обоснованное применение минеральных удобрений. Научно-методическое обеспечение всех указанных работ осуществляет Институт почвоведения и агрохимии.

Следует отметить, что, учитывая важность агрохимических мероприятий в сохранении и повышении плодородия почв, финансовые затраты обеспечивались за счет государственного бюджета. И даже в очень сложные для нашего государства периоды, когда разваливались все агрохимические системы бывших союзных республик СССР, наше государство сохранило структуру агрохимического обслуживания и государственную поддержку всех программ, направленных не только на сохранение, но и на расширенное воспроизводство плодородия почв.

В настоящее время в Республике Беларусь проведено 4 тура почвенного и 12 туров агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель.

Институту почвоведения и агрохимии были поручены вопросы научного обеспечения, а именно: проведение почвенных исследований и составление почвенной карты республики, методическое обеспечение работ по крупномасштабному агрохимическому обследованию почв, известкование кислых почв и разработке методических рекомендаций по применению минеральных удобрений в зависимости от содержания элементов питания в почвах и уровня планируемой урожайности сельскохозяйственных культур.

В системе государственного регулирования вопросов управления плодородием почв можно выделить несколько важнейших направлений. К ним относятся:

1. Система агропочвенного мониторинга. Включает крупномасштабное агрохимическое обследование почв сельскохозяйственных земель, а также сеть почвенных разрезов, стационарных площадок, длительных стационарных полевых опытов с удобрениями. При крупномасштабном агрохимическом обследовании почв с периодичностью один раз в четыре года определяются все важнейшие агрохимические показатели плодородия почв (рН, фосфор, калий, гумус, кальций, магний, сера, микроэлементы – бор, медь, цинк).

На стационарных площадках и почвенных разрезах изучаются вопросы изменения и эволюции почвенного покрова, в длительных полевых опытах с удобрениями – влияние средств химизации на агрохимические показатели плодородия почв, урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

2. Известкование кислых почв. Основывается на точном контроле за состоянием кислотности почв на каждом поле или рабочем участке. Позволяет эффективно использовать минеральные удобрения под отдельные сельскохозяйственные культуры. Результатом выполнения комплекса агрохимических мероприятий явилось то, что на пахотных землях практически достигнут оптимальный уровень кислотности (показатель кислотности рН 5,9) и сегодня задача агрохимической службы состоит в том, чтобы поддерживать его на достигнутом уровне (табл. 1).

Таблица 1

Динамика кислотности почв пахотных земель Республики Беларусь

| Область | 1970 г. | 1989 г. | 1992 г. | 2000 г. | 2004 г. | 2008 г. |
|--------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | рН КСІ | | | | | |
| Брестская | 4,87 | 5,74 | 5,84 | 5,82 | 5,81 | 5,79 |
| Витебская | 5,05 | 5,90 | 5,93 | 6,09 | 6,17 | 6,16 |
| Гомельская | 4,95 | 5,77 | 5,84 | 5,92 | 5,92 | 5,90 |
| Гродненская | 5,03 | 5,87 | 5,91 | 6,01 | 5,96 | 5,88 |
| Минская | 4,66 | 5,73 | 5,89 | 6,01 | 5,97 | 5,82 |
| Могилевская | 4,80 | 5,83 | 5,89 | 5,99 | 6,09 | 6,04 |
| Всего по РБ | 4,93 | 5,81 | 5,88 | 5,98 | 5,98 | 5,92 |
| | % кислых почв (рН < 5,0) | | | | | |
| Брестская | 63,3 | 11,5 | 7,3 | 6,3 | 5,3 | 6,0 |
| Витебская | 52,9 | 11,1 | 9,5 | 5,7 | 4,2 | 3,5 |
| Гомельская | 60,8 | 12,3 | 9,0 | 7,4 | 6,6 | 6,2 |
| Гродненская | 57,6 | 14,5 | 8,7 | 5,4 | 5,0 | 6,0 |
| Минская | 76,1 | 10,4 | 5,7 | 3,7 | 2,8 | 3,9 |
| Могилевская | 75,1 | 11,7 | 9,0 | 5,8 | 4,0 | 3,9 |
| Всего по РБ | 64,8 | 11,8 | 8,1 | 5,6 | 4,5 | 4,8 |

Стоимость известкования кислых почв достаточно велика – 403 тыс. руб./га при ежегодной потребности в известковании 474 тыс. га. Решение вопроса известкования кислых почв обеспечивается в значительной мере тем, что в республике имеются крупные месторождения доломитовой муки, ежегодная потребность в которой составляет 2,2 млн. т, а за вычетом дефеката – 1,7-1,9 млн. т (табл. 2).

3. Применение органических удобрений. Для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель необходимо вносить не менее 12 т/га органических удобрений, что в целом по республике составляет 55,7 млн. т (табл. 3).

Таблица 2

Рекомендуемые ежегодные объемы известкования и потребность в известковых удобрениях по областям республики на 2009-2012 гг.

| Область | Незагрязненные земли | | | Загрязненные земли | Итого |
|--|----------------------|---------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | пашня | сенокосы и пастбища | всего | | |
| Площади кислых почв, подлежащие известкованию, тыс. га | | | | | |
| Брестская | 50,4 | 23,1 | 73,5 | 1,0 | 74,6 |
| Витебская | 48,2 | 29,9 | 78,1 | - | 78,1 |
| Гомельская | 37,3 | 17,7 | 55,0 | 27,1 | 82,1 |
| Гродненская | 49,5 | 15,3 | 64,8 | 0,4 | 65,2 |
| Минская | 73,3 | 19,8 | 93,1 | 1,1 | 94,2 |
| Могилевская | 44,9 | 15,3 | 60,2 | 19,8 | 80,0 |
| Всего по РБ | 303,6 | 121,1 | 424,7 | 49,4 | 474,1 |
| Потребность в известковых удобрениях, тыс. т CaCO ₃ | | | | | |
| Брестская | 208,9 | 104,1 | 313,0 | 3,7 | 316,7 |
| Витебская | 250,3 | 162,4 | 412,7 | - | 412,7 |
| Гомельская | 155,4 | 82,0 | 237,4 | 113,6 | 351,0 |
| Гродненская | 227,8 | 73,3 | 301,1 | 1,4 | 302,5 |
| Минская | 339,6 | 93,4 | 433,0 | 3,9 | 436,9 |
| Могилевская | 219,1 | 77,9 | 297,0 | 82,7 | 379,4 |
| Всего по РБ | 1401,9 | 593,1 | 1994,2 | 205,3 | 2199,5 |

Наиболее сложная задача в этом вопросе – это вывозка и внесение полужидкого навоза. Для приготовления органических удобрений на основе полужидкого навоза требуется 2,8 млн. т торфа. Этот вопрос сегодня решается на государственном уровне. Восстанавливаются торфоплощадки и проводится заготовка торфа для сельского хозяйства. При условии выполнения добычи и поставки в сельскохозяйственные организации запланированных объемов торфа, за счет приготовления торфонавозных компостов на основе полужидкого навоза, возможно дополнительное использование до 9 млн. т качественных органических удобрений в год.

Таблица 3

Потребность и возможные объемы производства и внесения органических удобрений в Республике Беларусь

| Область | Потребность для бездефицитного баланса гумуса | | Возможное накопление органических удобрений, млн. т условного навоза | | | |
|--------------------|---|-------------|--|-------------------------|-------------|-------------|
| | млн. т | т/га | за счет навоза и компостов | за счет заправки соломы | всего | |
| | | | | | млн. т | т/га |
| Брестская | 9,8 | 14,6 | 8,4 | 1,7 | 10,1 | 15,0 |
| Витебская | 6,6 | 8,5 | 7,4 | 1,0 | 8,4 | 10,8 |
| Гомельская | 10,5 | 15,3 | 6,7 | 1,9 | 8,6 | 12,5 |
| Гродненская | 8,7 | 12,3 | 7,9 | 1,6 | 9,5 | 13,4 |
| Минская | 12,9 | 11,9 | 11,8 | 2,1 | 13,9 | 12,9 |
| Могилевская | 7,5 | 10,4 | 5,9 | 1,4 | 7,3 | 10,2 |
| Всего по РБ | 55,7 | 12,0 | 46,8 | 9,7 | 56,5 | 12,1 |

4. Система применения минеральных удобрений. В Республике Беларусь эта система построена таким образом, чтобы обеспечивать положительный или бездефицитный балансы основных элементов питания – азота, фосфора и калия. Для этого ежегодная технологическая потребность в минеральных удобрениях составляет 1931,4 тыс. т д. в. (табл. 4).

Таблица 4

**Потребность в минеральных удобрениях
по областям Республики Беларусь**

| Область | Всего, тыс. т д. в. в год | в том числе | | | Из них требуется на период весеннего сева | | | |
|--------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------|--|--------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Всего, тыс. т д. в. | в том числе | | |
| | | | | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Брестская | 277,7 | 110,2 | 45,5 | 122,0 | 193,2 | 81,6 | 29,6 | 82,0 |
| Витебская | 322,4 | 128,0 | 52,8 | 141,6 | 224,3 | 94,8 | 34,3 | 95,2 |
| Гомельская | 286,7 | 113,8 | 47,0 | 125,9 | 199,3 | 84,2 | 30,5 | 84,6 |
| Гродненская | 295,6 | 117,3 | 48,5 | 129,8 | 205,6 | 86,8 | 31,5 | 87,3 |
| Минская | 449,6 | 178,5 | 73,6 | 197,5 | 312,8 | 132,2 | 47,8 | 132,8 |
| Могилевская | 299,4 | 118,8 | 49,1 | 131,5 | 208,3 | 88,0 | 31,9 | 88,4 |
| Всего по РБ | 1931,4 | 766,6 | 316,5 | 848,3 | 1343,5 | 567,6 | 205,6 | 570,3 |

Этот объем минеральных удобрений в расчете на один гектар сельскохозяйственных земель и на один гектар почв пахотных земель превышает лучшие показатели периода, когда Республика Беларусь входила в состав СССР. В результате государственной поддержки, направленной именно на повышение плодородия почв, содержание в почвах пахотных земель подвижных форм фосфора и калия (по методу Кирсанова) в настоящее время составляет соответственно 179 и 193 мг/кг почвы, в то время как в 1970 году оно составляло соответственно 77 и 67 мг/кг почвы.

Принцип расчета потребности в минеральных удобрениях заключается в том, что на почвах с оптимальным содержанием фосфора и калия (200-300 мг/кг почвы) дозы минеральных удобрений рассчитывали таким образом, чтобы компенсировать вынос элементов питания с планируемой урожайностью. На почвах с содержанием фосфора и калия ниже оптимальных значений дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются на уровне компенсации 120-150 % выноса, а на почвах с содержанием фосфора и калия более 300 мг/кг почвы – на уровне 70 % от выноса с планируемой урожайностью (рис.).

Наиболее сложно в настоящее время обеспечивать оптимальное состояние фосфатного режима почв. Причиной этому являются постоянно возрастающие цены на фосфатное сырье и, соответственно, фосфорные удобрения. Можно прогнозировать, что как в ближайшей, так и более отдаленной перспективе этот вопрос останется одним из наиболее сложных. Поэтому важным вопросом в перспективе является реконструкция Гомельского химического завода с выводом его на ежегодное производство фосфорных удобрений 280-300 тыс. т в расчете по действующему веществу.

Важным аспектом применения органических и минеральных удобрений является воздействие их на биологическую активность почв. Особенно актуальны эти

вопросы при применении высоких доз минеральных удобрений и при высоком содержании подвижных форм фосфора и калия в почвах.

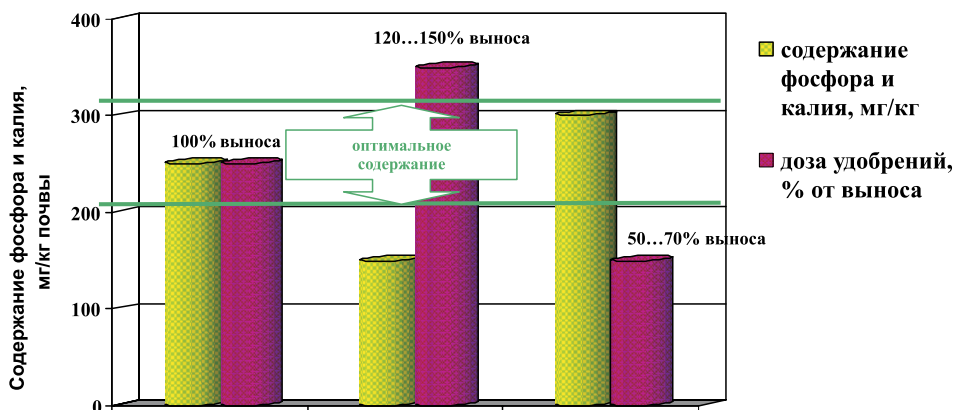


Рис. Принципы расчета доз минеральных удобрений

На основании биологических исследований, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, установлена оптимальная суммарная по азоту доза, поступающему в почву с органическими и минеральными удобрениями, которая составляет 140-200 кг/га д. в. При оценке биологического статуса дерново-подзолистых супесчаных почв с различным содержанием подвижного фосфора было установлено, что наиболее объективными показателями являются фосфатазная, инвертазная и дегидрогеназная активности почв. Оптимальные показатели активности этих ферментов установлены в интервале обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв подвижными соединениями фосфора от 240 до 290 мг/кг и внесении фосфорных удобрений в дозах 30-90 кг/га д. в.

Для оценки биологического статуса почв с различным уровнем обеспеченности подвижным калием наиболее информативными и объективными показателями являются дегидрогеназная, инвертазная, уреазная и полифенолоксидазная активность. Оптимальные показатели активности этих ферментов обеспечиваются при содержании подвижного калия в почвах от 200 до 290 мг/кг и внесении оптимальных доз калийных удобрений.

Одним из важнейших направлений в агрохимическом обеспечении сельского хозяйства является производство комплексных минеральных удобрений, сбалансированных по соотношению основных питательных веществ для отдельных культур или групп культур. Переход на практику применения комплексных форм минеральных удобрений в хозяйствах республики позволит, как минимум, на 60 % сократить затраты на их внесение и оптимизировать минеральное питание растений, поскольку в одной грануле будут содержаться все необходимые элементы питания. Достигнуть этого путем применения простых форм минеральных удобрений в настоящее время невозможно.

Институтом почвоведения и агрохимии в последние годы практически для всех сельскохозяйственных культур разработан полный ассортимент новых форм комплексных удобрений, включающих набор всех необходимых макро- и микроэлементов, регуляторов роста (табл. 5).

Ассортимент комплексных удобрений, разработанный Институтом почвоведения и агрохимии, и потребность в них для сельского хозяйства на 2011-2015 гг.

| Культура | Удобряемая площадь, тыс. га | Средняя доза, кг/га, ф. в. | Марка удобрения | Потребность зность | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|--------------|
| | | | | тыс. т ф. в. | тыс. т д. в. |
| Лен | 82 | 350 | 6-21-32 с В, Zn | 20,0 | 11,8 |
| | | 400 | 5-16-35 с В, Zn | 10,0 | 5,6 |
| Сахарная свекла | 90 | 800 | 13-12-19 с Na, В, Mn | 56,0 | 24,6 |
| | | 700 | 16-12-20 с В, Mn | 14,0 | 6,7 |
| Озимый рапс | 250 | 300 | 7:16:31 с S, В и Mn, | 60,0 | 32,4 |
| | | 400 | 5-16-35 с S, В и Mn | 20,0 | 11,2 |
| Яровой рапс | 50 | 500 | 16-12-20 с S, В | 25,0 | 12,0 |
| Картофель | 50 | 600 | 16-12-20 с S, В, Cu | 30,0 | 14,4 |
| <i>Озимые зерновые:</i> | | | | | |
| Пшеница | 300 | 450 | 5-16-35 с Cu и Mn | 135,0 | 75,6 |
| Тритикале | 400 | 400 | | 160,0 | 89,6 |
| Рожь | 500 | 350 | 7:16:31 с Cu и Mn | 175,0 | 94,5 |
| <i>Яровые зерновые:</i> | | | | | |
| Пшеница | 200 | 550 | 16-12-20 с Cu и Mn, | 55,0 | 26,4 |
| | | 700 | 13-11-19 с Cu и Mn | 70,0 | 30,1 |
| Ячмень кормовой | 520 | 550 | 16-12-20 с Cu и Mn, | 176,0 | 84,5 |
| | | 700 | 13-11-19 с Cu и Mn | 140,0 | 60,2 |
| Ячмень пивоваренный | 90 | 650 | 9-18-24 с Cu и Mn | 29,2 | 14,9 |
| | | 600 | 10-18-22 с В, Cu и Mn | 27,0 | 13,5 |
| Гречиха | 15 | 350 | 13-7-15 с В, Mg (бесхлорное) | 5,3 | 2,8 |
| <i>Многолетние травы:</i> | | | | | |
| Злаковые | 200 | 460 | 13-11-20 с В, Cu, Zn | 92,0 | 40,5 |
| Бобово-злаковые | 200 | 430 | 8-17-27 с Cu, Mn, Mo | 86,0 | 44,7 |
| <i>Овощные культуры:</i> | | | | | |
| Морковь | 3,0 | 400 | 16-12-20 с S, В, Cu | 1,2 | 0,58 |
| Столовая свекла | 3,0 | 700 | 13-12-19 с Na, В, Mn | 2,1 | 0,92 |
| Капуста | 3,0 | 850 | 13-11-21 с S, В, Zn | 2,6 | 1,2 |
| Всего | | | | 1391,4 | 698,7 |

На указанные формы комплексных удобрений разработаны технические условия, проведена регистрация в Госхимкомиссии Республики Беларусь, и на Гомельском химическом заводе освоено их промышленное производство. Разработка комплексных форм минеральных удобрений, сбалансированных по основным макроэлементам, включающих также оптимальные концентрации необходимых микроэлементов, эффективных регуляторов роста – перспективно с позиции ресурсосбережения и является существенным резервом повышения окупаемости средств химизации.

5. Применение микроудобрений. Учитывая важность этого направления в современных агротехнологиях, Институтом почвоведения и агрохимии разра-

ботаны составы и технические условия на производство нового класса микроудобрений на хелатной основе. К ним относятся микроудобрения группы: МикроСтим (моно-медь, моно-бор, моно-цинк) и МикроСил (моно-медь, моно-бор, моно-марганец, моно-цинк). Эти микроудобрения рекомендованы для применения под озимые и яровые зерновые культуры, сахарную свеклу, лен, кукурузу, озимый и яровой рапс и другие культуры. Решен очень важный вопрос в плане импортозамещения, поскольку хелатные микроудобрения до последнего года практически полностью завозились из-за рубежа. Необходимость применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры обусловлена их положительным влиянием на рост урожайности и улучшение качества получаемой растениеводческой продукции. В последнее десятилетие тенденция снижения содержания и подвижности микроэлементов в почвах республики требует проведения исследований по рациональному использованию микроудобрений. По данным крупномасштабного агрохимического обследования почв пахотных земель республики недостаточное содержание меди для обеспечения высоких урожаев (I и II группы обеспеченности) имеют 86,7 % площадей, цинка – 81,8 %, бора – 65,5 %. Кроме того, для значительных площадей почв сельскохозяйственных земель характерно низкое содержание йода и кобальта. Более 50 % площадей почв пахотных земель имеют рН почвы 6,0 и выше, при такой кислотности почв снижается подвижность вышеуказанных микроэлементов и марганца. Значимость проблемы микроэлементного питания определяется также дефицитом микроэлементов в травяных кормах республики: меди – 45-50 % к оптимальному содержанию, цинка – 25-30 %, марганца – 15-20 %, кобальта – 70-75 % и йода – 60-80 %.

В научном плане определена стратегия применения микроудобрений. В настоящее время в Республике Беларусь, как и в ведущих европейских странах, используется наиболее эффективный способ внесения микроэлементов – некорневые подкормки растений в период вегетации.

Таким образом, основным приоритетом в агрохимических исследованиях, проводимых в Республике Беларусь, является формирование условий, обеспечивающих получение максимальной, экономически обоснованной продуктивности сельскохозяйственных земель при сохранении и повышении уровня плодородия почв. Организована система агропочвенного мониторинга плодородия почв, обеспечивающая контроль за их состоянием. Реализация указанных направлений при их полной государственной поддержке обеспечила значительный рост плодородия почв и, как следствие, повышение их продукционной способности. В настоящее время руководством страны перед сельским хозяйством поставлена задача выйти на современные европейские технологии по всем основным сельскохозяйственным культурам. Эта задача может быть реализована только при условии повышения уровня плодородия почв, в первую очередь, содержания гумуса и основных элементов питания до их оптимальных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011-2015 гг. / В. Г. Гусаков [и др.]; под редакцией В. Г. Гусакова. – Минск, 2010. – 105 с.

2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под редакцией В. В. Лапы. – Минск: Белорусская наука, 2007 – 387 с.

SYSTEM OF SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF BELARUS

V. V. Lapa

Summary

The main trends of the system of government regulation soil fertility management are given. The achievements are shown and tasks on prospect in the system of agro soil monitoring, sour soil liming, application of organic and mineral macro- and micro fertilizers are determined.

Поступила 28 сентября 2011 г.

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.582:6314.445.2

ВЛИЯНИЕ ТИПОВ СЕВООБОРОТОВ НА СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ

А. Ф. Черныш, А. М. Устинова, А. В. Юхновец, А. А. Клус
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивность почвенно-эрозионных процессов определяется целым рядом природных и антропогенных факторов и свойств самих почв. Однако, интегральными характеристиками, через которые осуществляется влияние всех условий и свойств на эродируемость почв, являются водопроницаемость и противоэрозионная устойчивость.

Водопроницаемость почвы влияет на величину и интенсивность стока и, следовательно, на скорость движения потоков воды по поверхности и продолжительность стекания. По современным представлениям, из всех параметров водного потока именно его скорость является определяющим фактором эрозионного процесса.

Противоэрозионная устойчивость оказывает влияние на интенсивность смыва, когда сток уже сформировался. Она представляет собой способность почвы сопротивляться смывающему действию потока воды или совместному влиянию потока воды и капель дождя [1].

Водопроницаемость определяется агрофизическими свойствами пахотного горизонта, прежде всего, структурным состоянием: размерами структурных агрегатов, их положением относительно друг друга, а также водопрочностью. Наиболее благоприятная зернистая или зернисто-комковатая структура почвы. Она облегчает водообмен и воздухообмен между почвой и приземным слоем атмосферы, обеспечивает проникновение корней растений в более глубокие почвенные слои. Такая структура является агрономически ценной. Она способна выдерживать механическое воздействие, не распадается при намокании и, тем самым, обеспечивает благоприятные условия для роста и развития растений [2]. Именно ее создание является задачей агротехнических приемов и мероприятий, одно из которых – соотношение культур в севообороте [3].

Цель исследований заключалась в количественной оценке структурно-агрегатного состава дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, в зависимости от насыщения севооборота зерновыми культурами по целому ряду показателей, определяющих их противоэрозионную устойчивость.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования в полевых опытах являлись дерново-подзолистые в разной степени эродированные почвы, развивающиеся на лессовидных суглинках, стационара «Стоковые площадки» Минского района (СПК «Щемяслица»), представляющие в геоморфологическом отношении единую почвенно-эрозионную катену. На водораздельной равнине расположена неэродированная почва, в верхней части склона – слабо- и среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная, в подножье склона – глееватая намытая почва.

Исследованиями охвачены почвозащитные севообороты с различным насыщением зерновыми культурами: зернотравяной – люпин, яровая пшеница + люцерна, люцерна 1 г. п., люцерна 2 г. п., озимая пшеница (60 % зерновых), травяно-зерновой – яровая пшеница, горохо-овсяная смесь, озимая пшеница + бобово-злаковые травы, бобово-злаковые травы 1 г. п., бобово-злаковые травы 2 г. п. (40 %), кормовой – яровая пшеница, озимая рожь на з/м + пожнивные, люцерна 1 г. п., люцерна 2 г. п., люцерна 3 г. п. (20 %), бессменное возделывание галеги восточной – 16-19 годы пользования.

Склон, на котором размещалась галега восточная представлен слабо- и среднеэродированными почвами, зернотравяной, кормовой и травяно-зерновой севообороты – средне- и сильноэродированной почвами.

Отбор почвенных образцов для оценки структурно-агрегатного состава пахотного слоя, проводимый по методу Савинова [4, 5], осуществлялся в период уборки сельскохозяйственных культур перед началом ротации севооборотов (2006 г.) и в конце (2010 г.) на каждой из представленных степеней эродированности.

Противоэрозионная устойчивость почв оценивалась по следующим показателям:

- ▶ *водоустойчивость по классификации Н. А. Качинского* (содержание агрегатов более 0,25 мм при мокром просеивании) предусматривает следующую градацию: >75 % – избыточно высокая, 60-75 – отличная, 40-60 – хорошая, 30-40 – удовлетворительная, 20-30 – недостаточно удовлетворительная, 10-20 – неудовлетворительная, <10 % – водоустойчивость отсутствует;

- ▶ *коэффициент водоустойчивости (Кву.)*, определяемый по соотношению агрегатов размером более 0,25 мм при мокром и сухом просеивании. Чем он выше, тем больше устойчивость почвы к эрозии;

- ▶ *коэффициент структурности (Кстр.)* – отношение содержания агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) к сумме агрегатов >10 и <0,25 мм при сухом просеивании. Структура считается неудовлетворительной при Кстр. < 0,67, удовлетворительной – при 0,67-1,50, хорошей – если Кстр. >1,50;

- ▶ *коэффициент водопрочности (Квпр.)* представляет собой соотношение количества водопрочных агрегатов более 0,5 мм (%) при мокром и сухом просеивании;

- ▶ *содержание водопрочных агрегатов 0,5 мм (%)*;

- ▶ *средневзвешенный диаметр агрегатов при водном просеивании*;

- ▶ *коэффициент неустойчивости (Кнест.)*, отражающий изменение средневзвешенного диаметра агрегатов при сухом и мокром просеивании почвы. Увеличение Кнест. свидетельствует о снижении устойчивости почвы к эрозионным процессам.

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Перечисленные выше показатели поддаются регулированию посредством агротехнических и мелиоративных приемов.

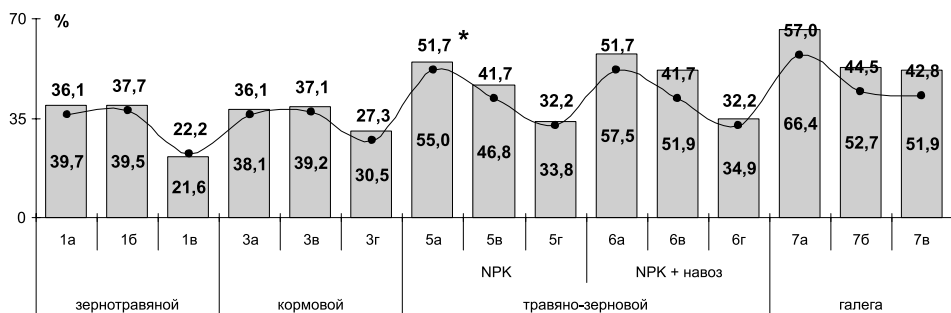
Количественная оценка показателей противоэрозионной устойчивости позволила выявить агроэкологическую эффективность применения различных типов почвозащитных севооборотов на дерново-подзолистых эродированных почвах, развивающихся на лессовидных суглинках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

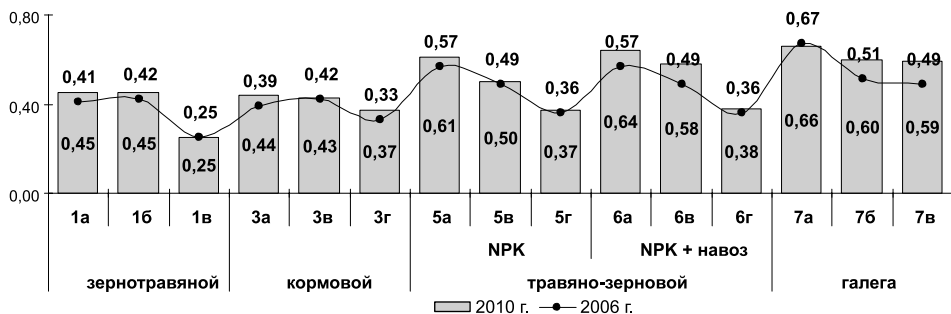
Структурно-агрегатный состав почвы в условиях проявления водно-эрозионных процессов является важнейшей характеристикой, которая в значительной мере определяет способность почвы противостоять разрушающему воздействию падающих капель дождя и водного потока.

За время проведения исследований наблюдалось улучшение структурно-агрегатного состава пахотного слоя дерново-подзолистых эродированных почв и показателей, характеризующих их противоэрозионную устойчивость (табл., рис.).

Самое высокое содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм при мокром просеивании отмечено при возделывании галеги восточной (рис.).



а



б

Рис. Изменение водоустойчивости по Качинскому (А) и коэффициента водоустойчивости (Б) дерново-подзолистых в разной степени эродированных почвах на лессовидных суглинках в зависимости от типа севооборота: а – неэродированная; б – слабоэродированная; в – среднеэродированная; г – сильноэродированная почва.

* В травяно-зерновом севообороте органические удобрения внесены под озимую пшеницу осенью 2007 г., поэтому начальные данные (2006 г.) в вариантах одинаковые.

Таблица
Изменение показателей противэрозионной устойчивости в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв на лессовидном суглинке в зависимости от типа севооборота

| Почва | Кстр. | | Квпр. | | Содержание водо-прочных агрегатов >0,5 мм, % | | Средневзвешенный диаметр при микром просеивании | | Кнест. | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|--|---------|---|---------|---------|---------|------|------|-------|
| | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | | | |
| Зернотравной севооборот | | | | | | | | | | | | | |
| 1а* | 1,30 | 1,41 | 3,29 | 3,28 | -0,01 | 16,04 | 15,08 | -0,96 | 0,50 | 0,46 | 4,98 | 4,64 | -0,34 |
| 1в | 1,12 | 1,36 | 3,61 | 3,21 | -0,40 | 15,22 | 15,94 | +0,72 | 0,43 | 0,48 | 5,30 | 4,68 | -0,62 |
| 1г | 1,02 | 1,18 | 3,08 | 2,60 | -0,48 | 13,28 | 10,80 | -2,48 | 0,29 | 0,28 | 5,15 | 4,76 | -0,39 |
| НСР _{0,05} | | 0,13 | | | 0,37 | | | 1,34 | | | 0,04 | | 0,51 |
| Кормовой севооборот | | | | | | | | | | | | | |
| 3а | 1,44 | 1,54 | 2,70 | 2,83 | +0,13 | 16,30 | 16,36 | +0,06 | 0,43 | 0,46 | 5,32 | 4,36 | -0,96 |
| 3в | 1,14 | 1,32 | 3,19 | 3,61 | +0,42 | 14,82 | 16,74 | +1,92 | 0,47 | 0,49 | 5,15 | 5,18 | +0,03 |
| 3г | 1,00 | 1,14 | 2,46 | 2,40 | -0,06 | 10,38 | 12,34 | +1,96 | 0,41 | 0,44 | 4,86 | 4,62 | -0,24 |
| НСР _{0,05} | | 0,15 | | | 0,39 | | | 1,51 | | | 0,05 | | 0,58 |
| Травяно-зерновой севооборот | | | | | | | | | | | | | |
| а | 1,33** | 1,42 | 2,77 | 3,29 | +0,52 | 34,50 | 35,36 | +0,86 | 0,82 | 0,78 | 4,71 | 4,68 | -0,03 |
| НПК + навоз | | 1,46 | | +0,13 | 4,60 | | +1,83 | 39,00 | | +4,50 | | 0,78 | -0,04 |
| в | 1,18 | 1,35 | 4,92 | 5,88 | +0,96 | 18,36 | 29,92 | +11,56 | 0,45 | 0,54 | 4,70 | 5,02 | +0,32 |
| НПК + навоз | | 1,41 | | +0,23 | 5,30 | | +0,38 | 31,06 | | +12,70 | | 0,56 | +0,11 |
| г | 1,00 | 1,26 | 2,83 | 2,99 | +0,16 | 13,18 | 15,02 | +1,84 | 0,47 | 0,51 | 5,49 | 5,41 | -0,08 |
| НПК + навоз | | 1,32 | | +0,32 | 4,71 | | +1,88 | 14,88 | | +1,70 | | 0,49 | +0,02 |
| НСР _{0,05} | | 0,14 | | | 0,52 | | 3,10 | | | 0,06 | | | 0,34 |

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Окончание табл.

| Почва | Кстр. | | Квпр. | | Содержание водо-прочных агрегатов >0,5 мм, % | | Средневзвешенный диаметр при мокром просеивании | | Кнест. | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|--|---------|---|---------|---------|---------|------|------|-------|
| | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | 2006 г. | 2010 г. | | | |
| 7а | 2,31 | 2,18 | 4,25 | 3,85 | 42,1 | 41,7 | -0,40 | 0,89 | 0,92 | 0,03 | 3,17 | 2,98 | -0,19 |
| 7б | 1,58 | 1,58 | 4,07 | 4,07 | 29,2 | 37,4 | +8,20 | 0,61 | 0,85 | +0,24 | 4,56 | 4,32 | -0,24 |
| 7в | 1,44 | 1,46 | 3,63 | 4,21 | 27,8 | 35,0 | +7,20 | 0,59 | 0,78 | +0,19 | 4,54 | 4,50 | -0,04 |
| НСР _{0,05} | | | | | 0,66 | | 4,52 | | | 0,11 | | | 0,38 |

Галегга восточная (16-19 г. п.)

Примечание: * а – незеродрованная; б – слабоэродированная; в – среднеэродированная; г – сильноэродированная почва; ** в травяно-зерновом севообороте органические удобрения внесены под озимую пшеницу осенью 2007 г., поэтому начальные данные (2006 г.) в вариантах одинаковые.

В 2006 г. содержание водопрочных агрегатов составило 43-57 %, к 2009 г. – увеличилось до 53-66 %. По классификации Качинского водоустойчивость почвенной структуры оценивается здесь как хорошая, причем по всей почвенно-эрозионной катене.

В начале ротации травяно-зернового севооборота водоустойчивость пахотного слоя незеродированной и среднеэродированной разновидностей хорошая. В этом севообороте также изучалось влияние органических удобрений на почвенную структуру. За пять исследований водоустойчивость улучшилась, особенно в варианте NPK + навоз, где содержание агрегатов $>0,25$ увеличилось на 2-10 %.

За ротацию других севооборотов существенных изменений в водоустойчивости не отмечено – увеличение не более 2 %, а в зернотравяном севообороте наблюдалось даже некоторое снижение содержания водопрочных агрегатов.

Коэффициент водоустойчивости (Кву.) исследуемых почв при возделывании галеги восточной в 2006 г. составлял 0,49-0,67. За четыре года он увеличился до 0,59-0,66, т. е. наблюдается выравнивание Кву. по почвенно-эрозионной катене. За ротацию травяно-зернового севооборота с органоминеральной системой удобрения Кву. возрос на 5-12 % с 0,36-0,57 до 0,38-0,64, причем более значительно на незеродированной и среднеэродированной почвах. В кормовом севообороте коэффициент водоустойчивости стал выше на эродированных разновидностях на 2-13 %. В зернотравяном севообороте Кву. незеродированной и среднеэродированной почв улучшился на 7 %, а сильноэродированной – остался на том же уровне.

Структура пахотного слоя исследуемых почв, оцениваемая по коэффициенту структурности (Кстр.), как в начале, так и в конце исследований – удовлетворительная. Исключением является незеродированная и слабоэродированная почвы под галегой восточной, а также незеродированная почва в кормовом севообороте. Здесь Кстр. более 1,5, т. е. структура хорошая. За годы исследований он практически не изменился (табл.). Из остальных типов использования эродированных почв выделим травяно-зерновой севооборот. В варианте NPK + навоз за пять лет исследований структура улучшилась на 10-32 %, особенно на эродированных почвах. В зернотравяном севообороте Кстр. увеличился лишь на 8-21 %, а в кормовом севообороте – на 7-16 %. Отметим, что структура пахотного горизонта эродированных почв значительно улучшилась независимо от удельного веса зерновых в севообороте.

Коэффициент водопрочности существенно увеличился за ротацию кормового, травяно-зернового севооборотов и при бессменном возделывании галеги восточной, что свидетельствует об улучшении противоэрозионной стойкости эродированных почв при таком типе их использования. В травяно-зерновом севообороте Квпр. возрос по сравнению с другими севооборотами больше всего – на 0,16-1,88. Внесение органических удобрений на фоне минеральных обеспечило самое значительное улучшение водопрочности.

Только в зернотравяном севообороте значение коэффициента водопрочности снизилось на 0,01-0,48, причем на эродированных разновидностях это снижение наиболее выражено (11-16 %).

Полученные результаты свидетельствуют, что за годы исследований содержания водопрочных агрегатов более 0,5 мм увеличилось при любом из исследуемых типов использования эродированных почв. При бессменном возделывании галеги

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

восточной количество водопрочных агрегатов самое высокое – 28-42 %. За четыре года доля агрегатов более 0,5 мм стала выше на 7-8 %, причем разница по почвенно-эрозионной катене не более 5 %.

В начале ротации травяно-зернового севооборота содержания водопрочных агрегатов >0,5 мм на незеродированной почве достаточно высокое (34,5 %). В то же время разница между сильноэродированной и незеродированной почвой около 20 %. За пять лет исследований на среднеэродированной почве отмечено наибольшее увеличение данного показателя (на 12-13 %).

В 2006 г. в кормовом севообороте количество водопрочных агрегатов составляло 10-16 %, а в 2010 г. – 12-17 %, т. е. изменения незначительные. Отметим, что наибольшее увеличение данного показателя характерно для среднеэродированной почвы.

В то же время, в зернотравяном севообороте количество водопрочных агрегатов было низкое (13-16 %), а за годы исследований снизилось еще на 1-2,5 %.

Применение почвозащитных севооборотов на исследуемых почвах способствовало увеличению устойчивости почвы к эрозионным процессам, оцениваемой по величине коэффициента нестабильности (Кнест.). По сравнению с началом исследований наблюдалось снижение Кнест. при любом типе использования эродированных почв.

При возделывании галеги восточной самое низкое значение Кнест. среди всех севооборотов. В 2006 г. (16 год пользования) коэффициент нестабильности составлял 3,17-4,56. За четыре года Кнест. снизился на 0,04-0,24 до 2,98-4,50. За ротацию зернотравяного севооборота уменьшение коэффициента нестабильности самое значительное – на 0,39-0,62.

Это подтверждается увеличением средневзвешенного диаметра агрегатов при мокром просеивании. Самый высокий данный показатель отмечен при бессменном возделывании галеги восточной. В 2006 г. он составлял 0,59-0,89, а в 2009 г. – 0,78-0,92, т. е. наблюдается сглаживание данного показателя по почвенно-эрозионной катене. В остальных севооборотах достоверное увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов наблюдается только на среднеэродированных почвах.

ВЫВОДЫ

Оценить эффективность применения почвозащитных севооборотов с различной долей зерновых культур в них (20, 40 и 60 %) в повышении устойчивости дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессовидных суглинках, к водно-эрозионной деградации можно, используя данные об их структурно-агрегатном составе.

Бессменное возделывание галеги восточной – эффективный почвозащитный прием, в наибольшей степени способствующий увеличению противозэрозионной устойчивости исследуемых почв. За 19 лет использования наблюдается выравнивание показателей структурно-агрегатного состава пахотного слоя по почвенно-эрозионной катене.

Насыщение севооборота зерновыми культурами до 60 % приводит к снижению водопрочности структуры исследуемых почв и отрицательно сказывается на показателях, характеризующих их противозэрозионную устойчивость, по сравнению с бессменным возделыванием галеги восточной и севооборотами с долей зерновых 20 % и 40 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, М. С. К вопросу о методике исследования эродированности почв / М. С. Кузнецов // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – Вып. 3. – С. 126-134.
2. Блэк, К. А. Растение и почва / К. А. Блэк. – М.: Колос, 1973. – 503 с.
3. Дубовик, А. Э. Оценка противоэрозионной устойчивости дерново-подзолистых почв, развивающихся на мощных моренных суглинках по данным структурно-агрегатного состава / А. Э. Дубовик // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – №1(34). – С. 348-352.
4. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
5. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – Ч. 1. – 323 с.

THE INFLUENCE OF CROP ROTATION TYPES ON STRUCTURALLY-MODULAR COMPOSITION OF SOD-PODZOLIC SOILS, FORMED ON LESS LOAMS

A. F. Chernysh, A. M. Ustinova, A. V. Yukhnovets, A. A. Klus

Summary

The results of comparative estimation of different soilprotected crop rotation types on structurally-modular composition of sod-podzolic soils, formed on less loams are shown at the article. It was determined, that east halega grown promotes to antierosion durability increase of researched soils. The saturation of crop rotation by cereals till 60 % leads to reduction of structure waterstability of researched soils and negative influence on their antierosion durability properties.

Поступила 15 ноября 2011 г.

УДК 631.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОПРАВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ В БЕЛАРУСИ

Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Основой оценки земель в Беларуси является шкала оценочных баллов плодородия почв, разработанная путем прямого учета урожаев на репрезентативных участках почв в сравнимых условиях агротехники. В шкале предусматривается учет типовых различий, степени увлажнения и гранулометрического состава, как наиболее стабильных свойств почв, характеризующих генетический уровень их плодородия почв в условиях нашей страны. В шкалу включены практически все

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

почвенные разновидности, встречающиеся на ее территории [1]. Однако качество полей и участков определяется не только характером почвенного покрова, но и рядом других специфических особенностей оцениваемой территории (культурно-технических, агрохимических, мелиоративных, климатических), которые влияют на качество пахотных земель. Поэтому, для оценки, кроме основной шкалы, составляется дополнительная, представляющая собой систему поправочных коэффициентов на указанные выше характеристики почв и оцениваемых участков [2], которые последовательно вводятся к исходным баллам почв, установленным по шкале, для получения окончательного (фактического) балла [3].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явилось все разнообразие факторов, влияющих на плодородие почв и учитываемых при оценке земель посредством поправочных коэффициентов: генезис почвообразующих пород, завалуненность, эродированность, агрохимические свойства почв, неоднородность почвенного покрова, климатические показатели.

Исследования выполнены на основе сбора, систематизации и анализа данных по влиянию этих факторов на производительную способность почв или в целом рабочих участков. При этом использовались следующие методы:

- ▶ обобщение и анализ литературных и статистических данных;
- ▶ мелкоделяночные учеты урожайности сельскохозяйственных культур в производственных посевах в сравнимых условиях агротехники;
- ▶ использование данных полученных в полевых опытах РУП «Институт почвоведения и агрохимии»;
- ▶ математическая обработка материалов и др.

Для характеристики отдельных показателей и разработки их оптимальных параметров использованы материалы последних туров крупномасштабного почвенного [4] и агрохимического [5] обследования почв, других специальных исследований и расчетов, проводимых землеустроительной службой республики, а также данные наблюдений по метеостанциям [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На протяжении всего периода развития землеоценочных работ в республике [7-9] методика учета дополнительных факторов, их количество, влияние на оценку постоянно уточнялись и совершенствовались. При проведении первого тура поучастковой кадастровой оценки земель (1997-1998 гг.) посредством поправочных коэффициентов учитывались следующие характеристики почв и земельных участков: эродированность, завалуненность (каменистость), контурность (средний размер обрабатываемых участков), окультуренность (состояние агрохимических свойств), неоднородность почвенного покрова (степень различия почв на участке), мелиоративное состояние осушенных земель, климатические условия территории [3].

За период, прошедший с момента завершения предыдущего тура землеоценочных работ, произошли не только существенные изменения количественных показателей всех вышеназванных характеристик почв и участков, но и в процес-

се научно-исследовательских работ накопился новый материал по их влиянию на производительную способность почв. То есть проведена большая работа по дальнейшему совершенствованию системы поправочных коэффициентов для очередного тура землеоценочных работ, решение, о проведении которого уже принято Советом Министров Республики Беларусь [10].

Проведенные исследования по совершенствованию системы поправочных коэффициентов к шкале исходных баллов к проведению очередного тура оценки земель включали:

- ▶ разработку и включение в методику оценки новых коэффициентов (на генезис почвообразующих пород);
- ▶ уточнение и совершенствование коэффициентов, которые использовались ранее, но по которым были получены новые данные об их влиянии на плодородие почв (завалуненность, эродированность, климатические условия);
- ▶ уточнение оптимальных параметров агрохимических свойств почв;
- ▶ уточнение группировок почв при установлении поправочного коэффициента на неоднородность почвенного покрова.

Генезис почвообразующих пород. Многочисленными исследованиями доказано, что генезис почвообразующих пород оказывает весьма существенное влияние на плодородие почв [11-13]. Поэтому почвы одного гранулометрического состава, но разного генезиса, будут различаться по своей производительной способности, что необходимо учитывать при проведении землеоценочных работ.

На пахотных землях Беларуси встречаются следующие генетические группы почвообразующих пород: моренные (18,3 %), водно-ледниковые (51,3 %), озерно-ледниковые (4,1 %), лессовые и лессовидные (17,0 %), аллювиальные и древнеаллювиальные (3,1 %), органогенные (6,0 %), делювиальные и эоловые (0,2 %) [14]. Поскольку почвы, сформировавшиеся на водно-ледниковых отложениях, занимают более половины площади пахотных земель, то они приняты за основу, т. е. поправочный коэффициент для почв на водно-ледниковых отложениях не вводится и равен 1,00. Это значит, что в шкале приведены баллы для почв, образовавшихся на этих отложениях. Для тех типов почв, или даже отдельных разновидностей, которые уже включены в шкалу оценочных баллов с учетом генезиса пород, поправочные коэффициенты не вводятся. Это почвы на озерно-ледниковых глинах и тяжелых суглинках, на аллювиальных и органогенных отложениях. При высокой степени заболоченности почв (глеватые и глеевые) генезис почвообразующих пород не оказывает существенного влияния на урожайность сельскохозяйственных культур [11], поэтому поправочные коэффициенты для них не устанавливались.

Исходя из выше изложенного, поправочные коэффициенты на генезис почвообразующих пород рекомендуется вводить только для агродерново-подзолистых автоморфных, оглеенных внизу и на контакте и агродерново-подзолистых заболочиваемых слабogleеватых почв по следующим генетическим группам: моренные, лессовидные, лессовые и древнеаллювиальные разного гранулометрического состава (средне- и легкосуглинистые, связносупесчаные, рыхлосупесчаные, песчаные) [15].

Для почв, развитых на моренных отложениях, поправочный коэффициент в зависимости от гранулометрического состава изменяется от 0,98 (средне- и легкосуглинистые) до 1,06 (песчаные) по сравнению с водно-ледниковыми, для лессо-

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

видных – от 1,02 (средне- и легкосуглинистые) до 1,06 (рыхлосупесчаные), для лессовых – от 0,94 (средне- и легкосуглинистые) до 0,97 (связносупесчаные), для древнеаллювиальных – от 1,00 (средне- и легкосуглинистые) до 0,90 (песчаные).

Завалуненность. Согласно материалов крупномасштабного почвенного картографирования завалуненность пахотных земель на территории Беларуси составляет 9,9 % [16]. Наличие валунов на пахотных землях снижает урожайность сельскохозяйственных культур, как непосредственно, занимая какую-то часть поверхности, так и косвенно, из-за ухудшения качества обработки почвы и уборки урожая (наличие огрехов вокруг крупных валунов, неравномерная заделка семян при посеве, поломка сельскохозяйственной техники и др.). Поэтому завалуненность почв всегда учитывалась при проведении землеоценочных работ. Однако поправочные коэффициенты на завалуненность в предыдущих турах оценки устанавливались в основном экспертным путем. Поэтому перед очередным туром они были уточнены на основании экспериментальных данных, полученных путем прямых учетов валунов и урожайности сельскохозяйственных культур на специально подобранных учетных площадках. По наличию валунов на поверхности и в пахотном горизонте было выделено пять степеней завалуненности. Каждая из этих степеней (за исключением первой и пятой) разделена на две группы по содержанию камней в м³/га. Всего выделено восемь групп. По каждой из них установлены поправочные коэффициенты отдельно для зерновых, пропашных, льна, многолетних трав и в среднем для всех культур [17-18].

Наибольшее снижение балла при максимальном объеме камней (более 100 м³/га) для зерновых и зернобобовых культур составляет 35 % (коэффициент 0,65), для пропашных – 49 % (коэффициент 0,51), льна – 42 % (коэффициент 0,58), многолетних трав – 28 % (коэффициент 0,72).

Эродированность. Природные условия Республики Беларусь способствуют широкому проявлению эрозионных процессов на ее территории. Согласно результатов последнего тура крупномасштабного почвенного картографирования 9,4 % площади пашни подвержено эрозии [4]. В Беларуси получила развитие как водная (смытые почвы), так и ветровая эрозия (дефлированные).

Эрозия почв наносит значительный экономический ущерб сельскому хозяйству. В результате ее проявления смывается или выдувается пахотный горизонт, теряется большое количество питательных веществ, что приводит к снижению урожайности возделываемых культур. Поэтому при проведении крупномасштабных почвенных исследований эродированные почвы выделяются самостоятельными контурами, что позволяет установить их площадь и учесть при проведении землеоценочных работ.

По методике предыдущего тура кадастровой оценки поправочные коэффициенты на эродированность определены отдельно для водной и ветровой эрозии по трем степеням (слабая, средняя, сильная) для 4 групп культур (зерновые и зернобобовые, пропашные, лен, многолетние травы).

За прошедшие 10 лет в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» проведено большое количество опытов на эродированных почвах, в которых изучалось влияние различных элементов земледелия на противозерозионную устойчивость почв и урожайность возделываемых культур [19]. Обобщение и анализ этих данных позволили уточнить поправочные коэффициенты на эродированность как

под различные культуры, так и в среднем по пахотным землям. Величина этих коэффициентов в зависимости от культур колеблется от 0,82-0,93 на слабосмытых до 0,46-0,70 на сильносмытых почвах и от 0,85-0,97 на слабодефлированных до 0,71-0,86 на сильнодефлированных. В результате снижение балльности почв за счет эрозии по сравнению с предыдущим туром оценки на смытых разновидностях несколько уменьшается, на дефлированных – увеличивается.

Окультуренность. Агрохимические свойства почв в условиях Беларуси являются одним из важнейших показателей, определяющих их эффективное плодородие. При оценке почв учитываются: содержание гумуса, кислотность (рН в KCl), содержание подвижных фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O). Суммарная оценка состояния агрохимических свойств почв выражается через комплексный показатель – индекс окультуренности [20].

Для определения индекса окультуренности по каждому из показателей устанавливаются оптимальные и минимальные параметры. Оптимальными считаются такие параметры, при которых обеспечивается максимальная продуктивность культур севооборота, при минимальных параметрах агрохимических свойств почв возделывание на них сельскохозяйственных культур экономически нецелесообразно. Исходя из оптимальных и минимальных показателей, для почв различного гранулометрического состава (глинистые и тяжелосуглинистые, средне- и легкосуглинистые, связносупесчаные, рыхлосупесчаные, песчаные) устанавливаются рабочие формулы для расчета индекса их агрохимической окультуренности, которые используются на практике, в том числе и для оценки земель [3, 20].

За более чем 10-летний период, прошедший после проведения предыдущего тура кадастровой оценки земель, отмечены значительные изменения показателей агрохимических свойств почв [5, 21], проведен ряд исследований по влиянию различных доз удобрений и содержания в почве питательных веществ на урожайность сельскохозяйственных культур [21-22], что и вызвало необходимость уточнения оптимальных параметров агрохимических свойств почв, которые, наряду с фактическим содержанием элементов питания в почвах, определяют индекс окультуренности.

Новые (уточненные) оптимальные параметры агрохимических свойств почв опубликованы в «Программе мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011-2015 гг.» [23].

По сравнению с предыдущим туром оценки оптимальные параметры для пахотных земель изменились следующим образом:

- ▶ по кислотности и содержанию подвижного фосфора для глинистых и тяжелосуглинистых почв остались на прежнем уровне, а для всех остальных групп почв по гранулометрическому составу увеличились;
- ▶ по содержанию подвижного калия для глинистых и суглинистых почв уменьшились, а для супесчаных и песчаных – увеличились;
- ▶ по содержанию гумуса для глинистых и тяжелосуглинистых почв уменьшились, для средне- и легкосуглинистых остались на прежнем уровне, а для супесчаных и песчаных – увеличились.

Неоднородность почвенного покрова. При оценке земель в Беларуси неоднородность почвенного покрова, одновременно отражающая его сложность и контрастность, определяется по трем основным характеристикам: типовой принадлежности почв, степени их увлажнения и гранулометрическому составу [3,

24]. С этой целью разработана шкала контрастности почв, в которой все почвы республики по этим характеристикам объединены в 5 групп. На основании степени различия почв по каждой из этих характеристик на рабочем участке и площадей, которые они занимают, определяется индекс неоднородности почвенного покрова. Исходя из этого индекса, устанавливается поправочный коэффициент, который используется при оценке. Сами поправочные коэффициенты на неоднородность почвенного покрова для очередного тура оценки остались прежними, однако группировка почв для его расчета была уточнена. Во все три группы включены дерготорфяные почвы, проведено некоторое перераспределение почв в группах, уточнено разделение агроторфяных почв по их мощности торфяного слоя. Соответственно изменены показатели контрастности почв по всем трем характеристикам, которые приводятся в общей шкале и используются для определения индекса неоднородности.

Климатические условия. При проведении предыдущего тура кадастровой оценки земель влияние климатических условий на плодородие почв учитывалось по трем основным показателям: биоклиматический потенциал местности, продолжительность земледельческого периода и континентальность климата. Биоклиматический потенциал – это основной показатель, учитывающий сумму активных температур воздуха выше 10°C и сумму осадков за этот период. Он достаточно объективно отражает влияние температурных условий и увлажнения на продуктивность сельскохозяйственных культур и может использоваться для оценки земель. Однако этот показатель не учитывает резких понижений температуры ниже 0°C (заморозков) и засушливых явлений, которые могут наблюдаться в период вегетации. К тому же, как показывает практика метеорологических наблюдений, в последние десятилетия отмечается увеличение числа заморозков и засух, что приводит к увеличению риска в сельском хозяйстве, а, соответственно, и к колебаниям урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому возникает необходимость учета этих явлений на оценку земель. В связи с этим были разработаны дополнительные поправочные коэффициенты для учета влияния заморозков и засух, которые предполагается использовать в текущем туре кадастровых землеоценочных работ в республике. Максимальное снижение продуктивности земель за счет заморозков составляет 8 % (коэффициент 0,92), за счет засушливых явлений – 7 % (коэффициент 0,93) [25].

Кроме перечисленных выше поправочных коэффициентов (уточненных и вновь разработанных) при оценке земель в Беларуси применяются также поправочные коэффициенты на контурность (размеры полей и рабочих участков) и мелиоративное состояние осушенных земель. Поправочные коэффициенты для них оставлены пока без изменений.

ВЫВОДЫ

1. Оценка плодородия почв Беларуси основывается на установлении исходных оценочных баллов по шкале с последующим введением поправочных коэффициентов на ряд факторов (генезис почвообразующих пород, завалуненность, эродированность, окультуренность, неоднородность почвенного покрова, контурность, мелиоративное состояние, климатические условия), оказывающих влияние на производительную способность почв и оцениваемых участков.

2. К очередному туру кадастровой оценки проведено усовершенствование системы поправочных коэффициентов:

- ▶ разработаны поправочные коэффициенты на генезис почвообразующих пород;
- ▶ уточнены поправочные коэффициенты на эродированность и завалуненность почв;
- ▶ уточнены оптимальные параметры агрохимических свойств почв различного гранулометрического состава;
- ▶ уточнены группировки почв при установлении поправочного коэффициента на неоднородность почвенного покрова;
- ▶ дополнены поправочные коэффициенты на климатические условия.

3. Использование всех названных выше поправочных коэффициентов при проведении очередного тура землеоценочных работ позволит более объективно отразить современное качественное состояние сельскохозяйственных земель республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шибут, Л. И. Принципы оценки плодородия почв Беларуси / Л. И. Шибут, В. А. Калюк // Плодородие почв – уникальный природный ресурс – в нем будущее России: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 26 февр. – 1 марта 2008 г. / С.-Петерб. госуд. ун-т; под ред. Б. Ф. Апарина. – СПб, 2008. – С. 139-140.

2. Шибут, Л. И. Использование поправочных коэффициентов при оценке земель в Беларуси / Л. И. Шибут, О. В. Матыченкова // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Горки, 5-7 июля 2007 г. / БСХА; А. И. Горбылева (отв. ред.). – Горки, 2007. – С. 345-347.

3. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий: метод. указания / Г. И. Кузнецов [и др.]; Госкомзем. – Минск, 2001. – 116 с.

4. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. – Минск.: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2006. – 288с.

6. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник; под ред. М. А. Гольберга. – Минск: Белорусский научно-исслед. центр «Экология», 2002. – 132с.

7. Качественная оценка земель в колхозах и совхозах БССР / А. Г. Медведев [и др.]; под общ. ред. С. Г. Скоропанова. – Минск: Урожай, 1971. – 328 с.

8. Качественная оценка земель в колхозах и совхозах БССР / Под. ред. Т. Н. Кулаковской. – 2-е изд. – Минск: Ураджай, 1977. – 200 с.

9. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н. И. Смяяна [и др.]; под общ. ред. Н. И. Смяяна. – Минск: Ураджай, 1989. – 359 с.

10. Цытрон, Г. С. К вопросу новой кадастровой оценки земель в Беларуси / Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26-30 июля 2010 г.: в 2 ч. / Ин-т почвоведения и агрохимии; редкол.: В. В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. I. – С. 186-188.

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

11. Роговой, П. П. О генетической и производственной характеристике дерново-подзолистых почв / П. П. Роговой // Почвоведение и агрохимия. – 1971. – Вып. 8. – С. 5-10.

12. Голушкова, И. К. Зависимость урожайности ячменя и овса от генезиса песчаных почвообразующих пород: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / И. К. Голушкова. – Минск, 2001. – 21 с.

13. Гаргарина, О. С. Влияние генезиса и гранулометрического состава суглинистых почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв при выращивании зерновых культур: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / О. С. Гаргарина. – Минск, 2002. – 20 с.

14. Цытрон, Е. В. Влияние строения почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е. В. Цытрон. – Минск, 2003. – 19 с.

15. Шибут, Л. И. Сравнительная оценка агродерново-подзолистых почв различного генезиса / Л. И. Шибут, Е. В. Цытрон // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск 26-30 июля 2010 г. в 2 ч. / редкол.: В. В. Лапа [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 210-212.

16. Земля Беларуси. 2001: справ. пособие / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. Г. И. Кузнецова, Г. В. Дудко. – Минск, 2001. – 120 с.

17. Радченко, Н. В. Поправочные коэффициенты на каменистость для оценки земель в Беларуси / Н. В. Радченко, Л. И. Шибут // Почва – удобрение – плодородие – урожай: материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рожд. Иванова С. Н. и 90-летию со дня рожд. Т. Н. Кулаковской 16-18 февр., 2009 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии: редкол.: В. В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2009. – С. 88-90.

18. Шибут, Л. И. Уточнение поправочных коэффициентов на завалуненность почв для зерновых и зернобобовых культур к оценке земель / Л. И. Шибут, Г. С. Цытрон, Н. В. Радченко // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – №1(42). – С. 28-34.

19. Черныш, А. Ф. Экологическая и экономическая эффективность применения приемов почвозащитного земледелия в условиях холмисто-моренно-озерных агроландшафтов Белорусского Поозерья / А. Ф. Черныш, А. В. Юхновец, А. Э. Дубовик // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – №1(38). – С. 22-30.

20. Богдевич, И. М. Поправочные коэффициенты на степень окультуренности почв / И. М. Богдевич // Оценка плодородия почв Белоруссии. – Минск: Ураджай, 1989. – С. 32-39.

21. Лапа, В. В. Плодородие почв Республики Беларусь, проблемы и перспективы / В. В. Лапа // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – №1(44). – С. 7-14.

22. Богдевич, И. М. Зависимость урожайности и качества продукции зерновых культур от обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв фосфором и доз минеральных удобрений / И. М. Богдевич, В. А. Микулич, Г. И. Каленик // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – №2(45). – С. 55-72.

23. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011-2015 гг. / В. Г. Гусаков [и др.]; под ред. В. Г. Гусакова. – НАН Беларуси, МСХП РБ, Госкомимущества, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 106 с.

24. Шибут, Л. И. Учет неоднородности почвенного покрова при кадастровой оценке земель в Беларуси / Л. И. Шибут, Г. С. Цытрон, В. А. Калюк // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №1(46). – С. 21-28.

25. Смяян, Н. И. К вопросу об учете агроклиматических условий при оценке земель в Беларуси / Н. И. Смяян, Л. И. Шибут // Современные проблемы повышения плодородия почв и защиты их от деградации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27-29 июня 2006 г. – Минск, 2006. – С. 236-238.

IMPROVING THE SYSTEM OF CORRECTION FACTORS FOR LAND ASSESSMENT IN BELARUS

G. S. Tsytron, L. I. Shibut

Summary

As a result, work on improving the methodology for assessing agricultural land in Belarus for the next round of land assessment developed new correction factors on the genesis of the parent rocks, the new optimal parameters of the agrochemical properties of soils, refined correction factors for soil erosion and stoniness, heterogeneity of soil cover and climate conditions of the territory.

Поступила 6 октября 2011 г.

УДК 631.51:631.43:631.55

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Н. Н. Цыбулько¹, А. В. Ермоленко², С. С. Лазаревич²

¹*Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, г. Минск, Беларусь*

²*Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии», г. Могилев, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

При оценке физического состояния почв используются количественные характеристики сложения и структурного состава, водных, воздушных, физико-механических и тепловых свойств. Основой для агрономической интерпретации физических свойств является характер их изменения в течение сезона. Интенсивность и направленность почвенных процессов в значительной мере определяется плотностью почвы, поэтому данный показатель считается общепринятым критерием оценки физического состояния почв.

Отмечается, что естественной причиной уплотнения дерново-подзолистых почв является содержание в них большого количества пыли, хозяйственной причиной – влияние тяжелой техники, неправильная обработка, нарушение севооборотов, особенно при уменьшении доли культур с глубокой корневой системой, недостаточное внесение органических удобрений. В среднем плотность пахотного

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

слоя суглинистых почв Беларуси превышает оптимальную на 0,18-0,20, а подпахотного – на 0,35-0,50 г/см³ [1].

Повышение устойчивости почв к уплотнению и их разуплотнение включает все приемы окультуривания, направленные на поддержание положительного или бездефицитного баланса гумуса за счет применения органических удобрений и посева трав в системе севооборотов, применение разноглубинной обработки и глубокого рыхления [2]. Однако, обычная вспашка, в том числе в сочетании с внесением органических удобрений, предпосевные обработки не приводят к немедленному разуплотнению почв. Объясняется это тем, что любая обработка, в том числе глубокое рыхление увеличивают общую пористость, водо- и воздухопроницаемость, но они не в состоянии восстановить утраченную при уплотнении пористость почвенных агрегатов и поэтому не могут полностью устранить негативные последствия переуплотнения [3, 4].

Важным показателем, определяющим водно-воздушный режим почв, является их пористость – суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы единицы объема почвы. Плотность и пористость – связанные между собой показатели физического состояния почвы. Уплотнение почвы отрицательно влияет на дифференциальную пористость, во-первых, уменьшается общая пористость за счет резкого сокращения объема крупных водо- и воздухопроводящих пор с эффективным диаметром ≥ 10 мкм, обеспечивающих аэрацию почвы, впитывание и фильтрацию воды, а во-вторых, увеличивается объем пор с эффективным диаметром $< 0,2$ мкм, содержащих недоступную и труднодоступную для растений воду. Эти изменения наблюдаются в почвах, как с низким, так и с высоким содержанием органического вещества, но в разных интервалах плотности. Высокая пористость аэрации приводит к значительным потерям влаги на физическое испарение. Уменьшение общей пористости с 67 до 55 %, а пористости аэрации с 37 до 18 % снижает скорость испарения на 20 % [5].

Цель настоящей работы – изучить влияние способов и приемов механической обработки на плотность и пористость дерново-подзолистых супесчаных автоморфной и глееватой почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2007-2009 гг. в полевом опыте на территории землепользования СПК «Зарянский» Славгородского района Могилевской области. В 2007 г. возделывали овес Богач, в 2008 – зернобобовую (пелюшка + вес) смесь, в 2009 г. – яровую пшеницу сорта Мунк.

Объектом исследования являлись дерново-подзолистые супесчаные автоморфная и глееватая почвы на водно-ледниковых рыхлых супесях.

За годы исследований метеорологические условия вегетационных периодов различались. По величине гидротермического коэффициента 2007 г. характеризовался, как умеренно влажный (ГТК = 1,4), 2008 и 2009 гг. – избыточно влажные – ГТК = 2,0 и 2,2 соответственно.

Схема опыта включала следующие системы обработки почвы:

▶ вариант 1 – система обычной отвальной обработки, включающая лущение стерни, отвальную вспашку на 20-22 см плугом ППО-4-40, предпосевную обработку агрегатом АКШ-7,2, посев сеялкой СПУ-3,6;

▶ вариант 2 – система безотвальной чизельной обработки, состоящая из лущения стерни, чизелевания на 20-22 см чизель-культиватором КЧ-5,4, предпосевной обработки агрегатом АКШ-7,2, посева сеялкой СПУ-3,6;

▶ вариант 3 – система безотвальной поверхностной обработки, включающая лущение стерни, дискование на 10-12 см дисковыми боронами БДТ-7, предпосевную обработку агрегатом АКШ-7,2, посев сеялкой СПУ-3,6;

▶ вариант 4 – система минимальной обработки, состоящая из лущения стерни, посева комбинированным посевным агрегатом Rabe Mega Seed 6002K2.

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянок 100 м², учетная – 40 м². Повторность вариантов в опыте четырехкратная.

Элементы технологии возделывания культур за исключением изучаемых вариантов соответствовали принятым отраслевым регламентам [6]. Фосфорные и калийные удобрения вносили перед посевом культур в дозах 60 и 120 кг/га действующего вещества соответственно. Азотные удобрения в форме карбамида применяли в следующие сроки: под овес и яровую пшеницу в дозах 90 кг/га действующего вещества дробно – N₆₀ перед посевом + N₃₀ в фазы выхода в трубку растений, под зернобобовую смесь – в дозе 60 кг/га перед посевом.

Почвенные образцы для определения плотности отбирали при ненарушенном состоянии почвы буровым методом при помощи колец Капецкого (метод «режущих колец») с глубины 0-10 и 10-20 см. Плотность почвы после ее высушивания до абсолютно сухого состояния определяли по формуле:

$$d = m/V,$$

где d – плотность почвы (г/см³), m – масса сухой почвы (грамм), V – объем почвы (см³).

Пористость почвы (скважность, порозность) определяли расчетным методом по формуле:

$$P = 100 \cdot \left(1 - \frac{d}{D}\right),$$

где P – пористость почвы (%), d – плотность почвы (г/см³), D – плотность твердой фазы почвы (г/см³).

Плотность твердой фазы вычисляли по формуле:

$$D = A \cdot [(B + A) - C] - 1 \cdot d_w - 1,$$

где D – плотность твердой фазы почвы (г/см³), A – масса навески сухой почвы (грамм), B – масса пикнометра с водой (грамм), C – масса пикнометра с водой и почвой (грамм), d_w – плотность воды, принимаемая за 1 г/см³.

Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа с использованием компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistica 7.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность почвы. Требования сельскохозяйственных культур к плотности почвы неодинаковые и поэтому значения ее для почв разного гранулометрического состава имеют широкий интервал – от 1,0 до 1,4 г/см³ [5]. Пахотный слой почвы считается рыхлым, если его плотность не превышает 1,15, плотным – если

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

находится в пределах 1,15-1,35 и очень плотным – выше 1,35 г/см³ [7]. Почвы с плотностью более 1,5 г/см³ практически непроницаемы для корневых систем культурных растений, поэтому рост и развитие их угнетается, а при более высокой плотности – наблюдается гибель [8].

Оптимальная плотность минеральных почв Беларуси колеблется от 1,10 до 1,25 г/см³ [8], а для большинства культур сплошного сева она находится в пределах 1,1-1,3 г/см³ [9]. При такой плотности обеспечиваются наилучшие условия для поглощения атмосферных осадков, газообмена, жизнедеятельности почвенной флоры и фауны. По другим данным, относительно благоприятная для роста и развития зерновых культур плотность дерново-подзолистых супесчаных почв колеблется от 1,20 до 1,35 г/см³ [9, 10].

Проведенные исследования на дерново-подзолистых супесчаных автоморфной и глееватой почвах, показали, что плотность почвы существенно колеблется по годам, зависит от увлажнения почвы, способов и приемов ее обработки.

Плотность пахотного слоя автоморфной почвы изменялась по годам от 1,24 до 1,38 г/см³, полугидроморфной глееватой почвы – от 1,22 до 1,38 г/см³. Различия плотности почвы между обработками наблюдались ежегодно в течение вегетационных периодов. Влияние степени гидроморфности почвы существенно проявилось только на третий год исследований (табл. 1).

Замена в течение 3-х лет традиционной вспашки минимальной и безотвальными обработками приводила к повышению плотности пахотного (0-20 см) слоя почв. В среднем за годы исследований плотность дерново-подзолистой супесчаной автоморфной почвы при безотвальной чизельной обработке увеличилась на 0,02 г/см³, при дисковой обработке – на 0,09 и при минимальной обработке – на 0,03 г/см³. На полугидроморфной почве она возросла на 0,06, 0,09 и 0,12 г/см³ соответственно.

По величине плотности пахотного горизонта варианты обработки почвы можно расположить в следующем порядке:

- ▶ на дерново-подзолистой супесчаной автоморфной почве – поверхностная дисковая обработка > минимальная ≥ безотвальная чизельная > отвальная вспашка;
- ▶ на дерново-подзолистой супесчаной глееватой почве – минимальная обработка > поверхностная дисковая > безотвальная чизельная > отвальная вспашка.

Оптимальные показатели физического состояния почвы имеют ключевое значение в период активной вегетации сельскохозяйственных культур. Результаты исследований показали, что в течение вегетационных периодов плотность пахотного горизонта почв под влиянием основной обработки, различающейся по способу и приемам воздействия на обрабатываемый слой, не всегда находилась в интервале оптимальных значений плотности – 1,20-1,35 г/см³. Так, излишне рыхлой (плотность < 1,2 г/см³) почва была только по отвальной вспашке. И чаще это наблюдалось в весенний период на автоморфной почве. В дальнейшем, в период активной вегетации культур и к моменту их уборки, на вспашке значения плотности почв находились в оптимальном диапазоне. Плотность пахотного слоя на безотвальной чизельной обработке в среднем за 3 года не выходила за пределы оптимальных значений как на автоморфной, так и на глееватой почве (рис.).

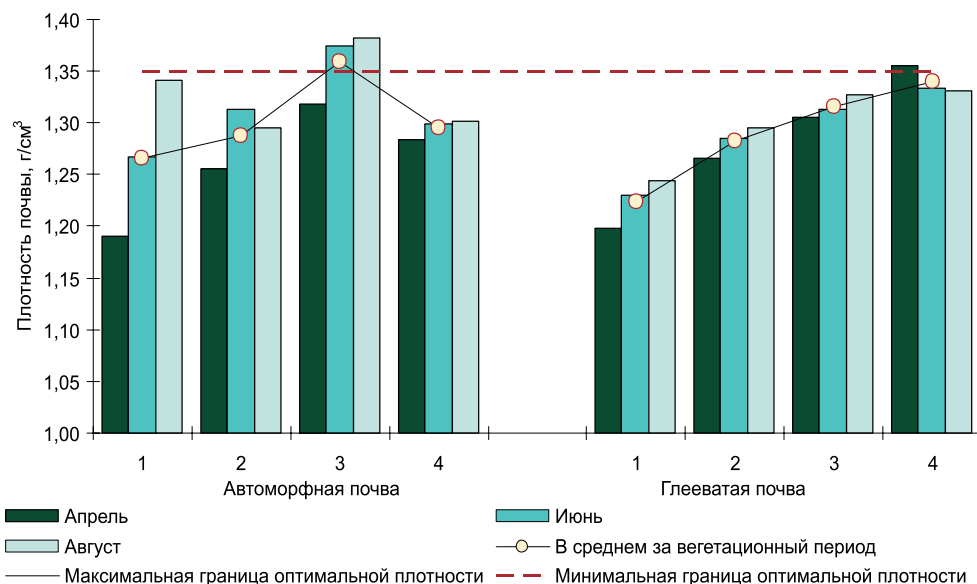


Рис. Плотность слоя почвы 0-20 см в среднем за период исследований в зависимости от обработки: 1 – отвальная вспашка; 2 – безотвальная чизельная обработка; 3 – поверхностная дисковая обработка; 4 – минимальная обработка

Таблица 1

Влияние систем обработки на плотность почв, г/см³

| Почва | Система обработки почвы | Возделываемые культуры | | | Средние значения |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------|------------------|
| | | овес | зерно-бобовая смесь | яровая пшеница | |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | Отвальная | 1,28 | 1,27 | 1,25 | 1,27 |
| | Безотвальная чизельная | 1,32 | 1,30 | 1,24 | 1,29 |
| | Поверхностная дисковая | 1,38 | 1,36 | 1,33 | 1,36 |
| | Минимальная | 1,34 | 1,27 | 1,27 | 1,30 |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая | Отвальная | 1,22 | 1,24 | 1,22 | 1,23 |
| | Безотвальная чизельная | 1,32 | 1,29 | 1,24 | 1,28 |
| | Поверхностная дисковая | 1,37 | 1,35 | 1,23 | 1,34 |
| | Минимальная | 1,38 | 1,35 | 1,29 | 1,33 |
| НСР ₀₅ | | | | | |
| Фактор А (увлажнение почвы) | | 0,03 | 0,02 | 0,02 | — |
| Фактор Б (обработка почвы) | | 0,02 | 0,02 | 0,01 | — |

Переуплотнение наиболее часто наблюдалось в вариантах с обработками, проводимыми на глубину 10-12 см. В варианте с поверхностной дисковой обработкой на автоморфной почве значения плотности пахотного слоя > 1,35 г/см³ наблюдались с середины вегетации сельскохозяйственных культур и к периоду их созревания. На глееватой почве плотность в варианте с дисковой обработкой хотя и имела высокие значения (> 1,30 г/см³), однако в среднем за период исследований находилась в оптимальном диапазоне.

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Применение минимальной обработки создавало оптимальную плотность автоморфной почвы. Высокие значения плотности были отмечены только в первый год. На глееватой почве данная обработка не обеспечивала оптимальных значений плотности в весенний период в 1-й и 2-й годы, а также характеризовалась повышенной плотностью в июне-августе.

Динамика плотности почвы от момента ее основной обработки до уборки культуры характеризует стабильность данного показателя. Установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной автоморфной почве наибольшие изменения плотности почвы за вегетационный период наблюдались на вспашке, которые колебались по годам от 0,04 до 0,23 г/см³, по безотвальным обработкам – от 0,01 до 0,13 г/см³ (табл. 2).

На полугидроморфной почве изменение плотности в течение вегетации по всем вариантам обработки не превышали 0,09 г/см³, то есть почва характеризовалась более стабильным состоянием в отношении плотности.

Следует отметить, что при отвальной обработке плотность почв в течение вегетации культур всегда увеличивалась, тогда, как по безотвальным обработкам в ряде случаев она сохранялась на уровне весенних значений или несколько снижалась, как например, при минимальной обработке. Данный факт можно объяснить тем, что в системе минимальной обработки в отличие от других вариантов обработки почвы наиболее интенсивное механическое воздействие на почву происходит при прохождении комбинированного почвообрабатывающего посевного агрегата при посеве.

Таблица 2

Изменение плотности пахотного слоя почв за период от проведения обработки до уборки возделываемых культур, г/см³

| Почва | Система обработки почвы | Возделываемые культуры | | |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| | | овес | зерно-бобовая смесь | яровая пшеница |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | Отвальная | +0,18 | +0,04 | +0,23 |
| | Безотвальная чизельная | -0,02 | +0,01 | +0,13 |
| | Поверхностная дисковая | +0,08 | -0,01 | +0,12 |
| | Минимальная | -0,03 | -0,03 | +0,10 |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая | Отвальная | +0,08 | +0,02 | +0,04 |
| | Безотвальная чизельная | +0,08 | +0,01 | — |
| | Поверхностная дисковая | +0,07 | — | — |
| | Минимальная | -0,02 | -0,09 | +0,04 |

Следовательно, в течение вегетационного периода плотность пахотного горизонта более стабильна в вариантах с безотвальными способами обработки, чем при отвальной вспашке. Данную особенность можно рассматривать, как положительный факт для роста и развития растений.

Известно, что отвальная вспашка и безотвальная чизельная обработка оказывают механическое воздействие на весь пахотный горизонт, поверхностная дисковая и минимальная – только на верхний 0-10 см слой. Поэтому, увеличение плотности всего пахотного горизонта происходит в основном за счет повышенной плотности его нижнего слоя, который при безотвальных способах обработки

в зависимости от приема рыхлится менее интенсивно (безотвальная чизельная обработка), чем при отвальной вспашке, либо вовсе не подвергается механическому воздействию (поверхностная дисковая и минимальная обработки).

В наших исследованиях установлено, что дифференциация пахотного горизонта наиболее выражена при безотвальных способах обработки и наблюдается в течение всего вегетационного периода, тогда как при отвальной вспашке проявляется от середины до конца вегетации и усиливается к концу вегетации культуры. Различия в плотности почвы между слоями 0-10 и 10-20 см особенно выражены при поверхностной дисковой и минимальной обработках.

На отвальной вспашке различия в плотности слоев составляли 0,07 г/см³, на безотвальной чизельной обработке – 0,14-0,18 г/см³. На поверхностной дисковой обработке превышение плотности слоя 10-20 см над слоем 0-10 см составляло 0,21-0,22 г/см³ (табл. 3).

Таблица 3

Различия в плотности слоев пахотного горизонта почв в зависимости от обработки, г/см³

| Почва | Система обработки почвы | Слой почвы, см | | Различия в плотности слоев, г/см ³ |
|--|-----------------------------|----------------|-------|---|
| | | 0–10 | 10–20 | |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | Отвальная | 1,23 | 1,30 | 0,07 |
| | Безотвальная чизельная | 1,22 | 1,36 | 0,14 |
| | Поверхностная дисковая | 1,25 | 1,47 | 0,22 |
| | Минимальная | 1,21 | 1,38 | 0,17 |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая | Отвальная | 1,19 | 1,26 | 0,07 |
| | Безотвальная чизельная | 1,19 | 1,37 | 0,18 |
| | Поверхностная дисковая | 1,23 | 1,44 | 0,21 |
| | Минимальная | 1,26 | 1,40 | 0,14 |
| НСР ₀₅ | фактор А (увлажнение почвы) | 0,03 | 0,06 | |
| | фактор Б (обработка почвы) | 0,02 | 0,04 | |

Плотность верхнего 0-10 см слоя почв отличалась динамичностью – отмечалось как увеличение ее к середине и концу вегетации культур по сравнению с весенним периодом, так и снижение, что не позволило выявить четкого влияния обработок. По нашему мнению, отсутствие выраженных закономерностей изменения плотности этого слоя от обработок объясняется воздействием на него естественных процессов уплотнения и разуплотнения (гравитационных, гидротермических) и других факторов, связанных с агротехнологией (распределение растительных остатков, развитие корневых систем растений, воздействие ходовых систем машин и орудий).

Влияние способов и приемов обработки почвы на плотность слоя 10-20 см проявлялось более четко – безотвальные обработки приводили к его уплотнению. Это объясняется менее интенсивным рыхлением или отсутствием воздействия почвообрабатывающих орудий.

Пористость почвы. По оценочной шкале Н. А. Качинского [11] общая пористость пахотного слоя, при которой создаются благоприятные водно-воздушные условия для растений, считается *отличной* и находится в интервале 55-65 % от объема почвы, *удовлетворительной* – 50-55 %. Пористость 50-40 % считается *неудовлетворительной*, а 25-40 % – *чрезмерно низкой*. В этом случае нарушает-

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

ся газообмен между почвой и атмосферой, негативно отражаясь на росте и развитии растений. Оптимальная общая пористость для зерновых культур составляет 50-58 % [12].

Дерново-подзолистые супесчаные почвы в первый год применения разных обработок имели в течение вегетационного периода удовлетворительную пористость только в варианте с отвальной вспашкой, где в среднем она составила на автоморфной почве 51 %, на глееватой почве – 53 %. Все безотвальные способы обработки имели неудовлетворительную для пахотных горизонтов пористость (< 50 %). Наименьшим значением по этому показателю характеризовались дисковая и минимальная обработки – 47-48 % (табл. 4). Снижение пористости по безотвальным обработкам связано с увеличением плотности почв.

Таблица 4

Влияние систем основной обработки на общую пористость почв, %

| Почва | Система обработки почвы | Возделываемые культуры | | | Средние значения |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------|------------------|
| | | овес | зерно-бобовая смесь | яровая пшеница | |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | Отвальная | 51 | 51 | 52 | 51 |
| | Безотвальная чизельная | 49 | 50 | 52 | 50 |
| | Поверхностная дисковая | 47 | 48 | 49 | 48 |
| | Минимальная | 48 | 51 | 51 | 50 |
| НСР ₀₅ | | 2,2 | 2,5 | 2,1 | 2,2 |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая | Отвальная | 53 | 52 | 53 | 53 |
| | Безотвальная чизельная | 49 | 51 | 52 | 51 |
| | Поверхностная дисковая | 47 | 48 | 53 | 49 |
| | Минимальная | 47 | 48 | 50 | 48 |
| НСР ₀₅ | | 2,4 | 2,2 | 1,1 | 1,9 |

Во второй год наблюдалась несколько иная тенденция. На автоморфной почве пористость пахотного горизонта находилась в диапазоне неудовлетворительных значений только в варианте с дисковой обработкой – 48 %. Пористость по безотвальной чизельной и минимальной обработках колебалась в диапазоне 50-51 %. На полугидроморфной почве удовлетворительная пористость отмечена при применении отвальной вспашки и безотвальной чизельной обработки – 52 и 51 % соответственно. На поверхностной и минимальной обработках она была неудовлетворительной и существенно уступала обработкам на глубину 20-22 см.

На третий год применения разных обработок различия в пористости по вариантам обработки автоморфной почвы были схожими с таковыми за предыдущий год: пористость была неблагоприятной лишь в варианте с дисковой обработкой – 49 %. В остальных случаях она была удовлетворительной и несущественно различалась по вариантам. На глееватой почве пористость по всем вариантам почвы характеризовалась, как удовлетворительная.

В среднем за годы исследований общая пористость пахотных горизонтов почв изменялась в зависимости от способов и приемов их обработки в пределах 48-53 %. На отвальной вспашке, безотвальной чизельной и минимальной обработке на автоморфной почве этот показатель характеризовался по оценочной

шкале Н. А. Качинского как удовлетворительный – 50-53 %, а на поверхностной обработке на 10-12 см и минимальной обработке на глееватой почве был неудовлетворительным (48-49 %).

На автоморфной почве при поверхностной дисковой обработке, а также на глееватой почве при поверхностной и минимальной обработке общая пористость пахотного горизонта снижалась до неудовлетворительного состояния – 48-49 %.

Пористость верхнего 0-10 см слоя исследуемых почв на всех обработках была выше, чем слоя 10-20 см на 2-8 %. Установлено также, что по отвальной вспашке различия в пористости между слоями составляли 2-3 %, а на чизельной, поверхностной и минимальной обработках они колебались от 4 до 8 % (табл. 5).

Таблица 5

**Различия в пористости слоев пахотного горизонта почв
в зависимости от обработки, %**

| Почва | Система обработки почвы | Слой почвы, см | | Различия в пористости слоев, % |
|---|-------------------------|----------------|-------|--------------------------------|
| | | 0-10 | 10-20 | |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | Отвальная | 53 | 50 | 3 |
| | Безотвальная чизельная | 53 | 48 | 5 |
| | Поверхностная дисковая | 52 | 44 | 8 |
| | Минимальная | 53 | 47 | 6 |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая | Отвальная | 54 | 52 | 2 |
| | Безотвальная чизельная | 54 | 47 | 7 |
| | Поверхностная дисковая | 53 | 46 | 7 |
| | Минимальная | 52 | 45 | 7 |
| НСП ₀₅ фактор А (увлажнение почвы) фактор Б (обработка почвы) | | 0,6 | 1,6 | — |
| | | 0,9 | 1,1 | — |

Следует отметить, что влияние способов и приемов обработки на общую пористость пахотных (0-20 см) горизонтов почв проявилось главным образом в изменении пористости слоя 10-20 см. Так, если для слоя 0-10 см различия между обработками составляли всего 1-2 %, то для слоя 10-20 см – 3-7 %. Безотвальные способы обработки приводили к снижению общей пористости в первую очередь слоя почвы 10-20 см.

Урожайность возделываемых культур. В наших исследованиях замена отвальной системы обработки почвы безотвальными вариантами и системой минимальной обработки неоднозначно проявилась на урожайности возделываемых культур. На автоморфной почве урожайность овса в сложившихся погодных условиях была достаточно низкой по всем вариантам обработки и в среднем по почве составила 32,0 ц/га, по вспашке – 32,7 ц/га (табл. 6).

Применение безотвальной чизельной обработки незначительно, а поверхностной дисковой существенно снизило урожайность культуры относительно контрольного варианта на 1,1 и 4,3 ц/га соответственно (НСП₀₅ = 2,4). Максимальная урожайность овса отмечена в варианте с минимальной обработкой – 35,5 ц/га, что превысило значения показателя не только контрольного варианта, но и по вариантам с безотвальной обработкой почвы.

На полугидроморфной почве системы обработки влияли на продуктивность овса несколько иначе. Максимальная урожайность зафиксирована при приме-

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

нении отвальной вспашки – 41,4 ц/га. Безотвальные системы обработки характеризовались снижением урожайности. Однако если по безотвальной чизельной обработке снижение было незначительным – 0,7 ц/га, то в вариантах с поверхностной дисковой и минимальной системами обработки урожайность уменьшилась существенно – на 2,5 и 4,0 ц/га соответственно.

Влияние систем обработки почвы на продуктивность зернобобовой смеси имело схожие закономерности с влиянием на урожайность предыдущей культуры. На автоморфной почве по традиционной отвальной обработке урожайность зерна составила 35,3 ц/га. В варианте с минимальной обработкой она возросла на 2,1 ц/га, а по безотвальной чизельной обработке незначительно (на 0,9 ц/га) снизилась. Наименьшая урожайность получена при применении системы поверхностной дисковой обработки – 31,8 ц/га.

Таблица 6

Продуктивность культур в зависимости от степени увлажнения и способов обработки почвы

| Почва | Система обработки почвы | Урожайность зерна, ц/га | | | Средняя урожайность, ц/га зерновых единиц |
|--|-------------------------|-------------------------|--------------------|----------------|---|
| | | овес | зернобобовая смесь | яровая пшеница | |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | Отвальная | 32,7 | 35,3 | 39,9 | 35,8 |
| | Безотвальная чизельная | 31,6 | 34,4 | 39,0 | 34,5 |
| | Поверхностная дисковая | 28,4 | 31,2 | 36,8 | 31,6 |
| | Минимальная | 35,5 | 37,4 | 43,9 | 38,8 |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая | Отвальная | 41,4 | 42,6 | 54,7 | 45,3 |
| | Безотвальная чизельная | 40,7 | 40,8 | 53,6 | 44,2 |
| | Поверхностная дисковая | 38,9 | 40,0 | 48,5 | 41,9 |
| | Минимальная | 37,4 | 39,3 | 50,2 | 41,7 |
| НСР ₀₅ | | | | | |
| Фактор обработка почв | | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 2,2 |
| Фактор увлажнение почв | | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

На полугидроморфной почве при применении традиционной вспашки получена максимальная урожайность зернобобовой смеси – 42,6 ц/га. Системы безотвальной чизельной, поверхностной дисковой и минимальной обработок снизили урожайность на 1,8, 2,6, 3,3 ц/га соответственно при НСР₀₅ = 2,2.

Наибольшая урожайность зерна яровой пшеницы на автоморфной почве, превышающая урожайность в контрольном варианте на 4,0 ц/га, сформирована при применении системы минимальной обработки почвы – 43,9 ц/га. Некоторое снижение урожайности относительно вспашки наблюдалось в варианте с применением системы безотвальной чизельной обработки. Наименьшая продуктивность была по поверхностной дисковой обработке – 36,8 ц/га.

На полугидроморфной глееватой почве по вспашке урожайность зерна составила 54,7 ц/га, несколько меньше по чизелеванию – 53,6 и существенно ниже по поверхностной дисковой и минимальной обработках – 48,5 и 50,2 ц/га соответственно.

В целом продуктивность культур звена севооборота овес – зернобобовая смесь – яровая пшеница составила на супесчаной автоморфной почве 31,6-

38,8 ц/га зерновых единиц, на супесчаной глееватой почве – 41,7-45,3 ц/га зерновых единиц. По-нашему мнению, ведущим фактором повышения урожайности культур на полугидроморфной глееватой почве явилась влагообеспеченность растений. В отличие от автоморфной, на глееватой почве сельскохозяйственные культуры не испытывали дефицита во влаге, как во время всходов, так и в период интенсивного роста и развития.

Применение в течение 3-х лет минимальной системы обработки обеспечило повышение продуктивности звена севооборота на 3 ц/га зерновых единиц по сравнению со вспашкой. Система безотвальной чизельной обработки несущественно снижала урожайность – на 1,3 ц/га зерновых единиц. Достоверное (4,2 ц/га) уменьшение продуктивности было по поверхностной дисковой обработке.

На полугидроморфной глееватой почве замена отвальной обработки безотвальной чизельной, поверхностной и минимальной обработками привела к снижению продуктивности звена севооборота на 1,2-3,5 ц/га зерновых единиц. По минимальной и поверхностной дисковой обработкам снижение было существенным.

ВЫВОДЫ

1. Систематическое применение безотвальной чизельной, поверхностной дисковой и минимальной систем обработки приводит к уплотнению дерново-подзолистой супесчаной автоморфной почвы на 0,03-0,09 г/см³, полугидроморфной глееватой почвы – на 0,05-0,11 г/см³ по отношению к отвальной вспашке. Однако на безотвальной чизельной и минимальной обработках увеличение плотности не приводит к превышению верхней границы оптимального ее значения. В течение вегетационного периода плотность пахотного горизонта более стабильна в вариантах с безотвальными способами обработки по сравнению с отвальной вспашкой.

2. Дифференциация пахотного горизонта наиболее выражена при безотвальных способах обработки и наблюдается в течение всего вегетационного периода, при отвальной вспашке проявляется от середины до конца вегетации с усилением к уборке культуры. Различия в плотности почвы между слоями 0-10 и 10-20 см особенно выражены при поверхностной дисковой обработке – 0,18-0,22 г/см³.

3. Общая пористость почв зависит от их плотности и изменяется в зависимости от способов и приемов обработки от 48 до 53 %. На супесчаной автоморфной почве отвальная вспашка, безотвальная чизельная и минимальная обработки обеспечивают удовлетворительную аэрацию пахотного горизонта – 50-53 %, поверхностная дисковая обработка – неудовлетворительную – 48 %. На супесчаной глееватой почве удовлетворительная пористость почвы обеспечивается при отвальной и безотвальной обработках на глубину 20-22 см. Поверхностная и минимальная обработки приводят к ухудшению аэрации почвы в результате снижения пористости слоя 10-20 см.

4. На супесчаной автоморфной почве применение в течение 3-х лет минимальной системы обработки почвы обеспечивает повышение продуктивности звена севооборота на 3 ц/га зерновых единиц по сравнению с отвальной вспашкой, а система поверхностной дисковой обработки, наоборот, к достоверному (на 4,2 ц/га зерновых единиц) ее уменьшению. На полугидроморфной глееватой почве замена вспашки поверхностной и минимальной обработками приводит к су-

щественному (на 3,4-3,7 ц/га зерновых единиц) снижению урожайности культур звена севооборота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, Н. И. Основные проблемы физики дерново-подзолистых почв БССР и пути их решения / Н. И. Афанасьев // Почвоведение. – 1990. – №5. – С. 128-138.
2. Бондарев, А. Г. Проблема уплотнения почв сельскохозяйственной техникой и пути ее решения / А. Г. Бондарев // Почвоведение. 1990. – №5. – С. 31-37.
3. Бондарев, А. Г. Изменение физических свойств и плодородия почв при их уплотнении движителями сельскохозяйственной техники / А. Г. Бондарев [и др.]. // Воздействие движителей на почву. – М., 1988. – Т. 118. – С. 46-57.
4. Кушнарев, А. С. Агротехнические приемы разуплотнения почв / А. С. Кушнарев, А. И. Пупонин, Н. С. Матюк // Переуплотнение пахотных почв. – М.: Наука, 1987. – С. 194-198.
5. Кузнецова, И. В. Об оптимальной плотности почв / И. В. Кузнецова // Почвоведение. – 1990. – №5. – С. 43-54.
6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 460 с.
7. Земледелие / С. А. Воробьев [и др.]; под ред. С. А. Воробьева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 527 с.
8. Прогрессивные приемы и технические средства обработки почвы и посева: анал. записка. – Минск, Белорусский научный центр информации и маркетинга агропромышленного комплекса, 1997. – 17 с.
9. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
10. Пупонин, А. И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны / А. И. Пупонин. – М.: Колос, 1984. – 184 с.
11. Агрэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство. – М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.
12. Козловская, И. П. Почвоведение с основами геоботаники: учеб. пособие / И. П. Козловская. – Мн.: Ураджай, 2000. – 260 с.

INFLUENCE OF PROCESSING SYSTEMS ON PHYSICAL PROPERTIES OF DERNOVO-PODSOLIC SANDY SOILS AND PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS

N. N. Tsybulko, A. V. Ermolenko, S. S. Lazarevich

Summary

On sod-podsolic sandy soils of different humidifying regular application chisel is established, that, superficial and mini-till systems of tillage leads to consolidation soils on 0.03-0.11 g/sm³ in relation to turning. However on chisel and the mini-till the density increase does not lead to excess of the top border of an optimum.

The differentiation of an arable layer is most expressed at chisel and superficial tillage and mini-till and observed during all vegetative period, at turning is shown from the middle till the end of vegetation. Distinctions in soil density between layers of 0-10 and 10-20 cm are especially expressed at superficial tillage – 0.18-0.22 g/cm³.

On soil of normal humidifying turning, chisel tillage and mini-till provide satisfactory aeration of an arable layer – 50-53 %, superficial tillage – unsatisfactory – 48 %. On sandy rehumidified to soil satisfactory porosity is provided at turning and chisel tillage on depth 20-22 cm. Superficial and minimum tillage see lead to deterioration of aeration of soil as a result of decrease in porosity of a layer 10-20 cm.

On sandy soil of normal humidifying application within 3th years of the minimum system of tillage of soil provides increase of efficiency of a link of a crop rotation on 3 ts/hectares of grain units in comparison with turning, and system of superficial tillage, on the contrary, to authentic (on 4,2 ts/hectares of grain units) to its reduction. On rehumidified to soil replacement of turning with superficial and mini-till leads essential (on 3.4-3.7 ts/hectares of grain units) to decrease in productivity of cultures of a link of a crop rotation.

Поступила 30 ноября 2011 г.

УДК 631.459:681.518

ПРИМЕНЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПОТЕРЬ ПОЧВЫ ОТ ЭРОЗИИ (RUSLE) ПРИ ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОДНО-ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ГИС

Горбачёва Е. Н.

Космоаэрогеология, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» площадь земель с потенциально возможным смытием почвы составляет около 1,443 млн. га или около 32 % территории Беларуси. Эродированные почвы на пашне занимают в Республике Беларусь 556 тыс. га (9,4 % от общей площади пашни). Из общей площади эродированных почв водной эрозии подвержено 84 % [1].

Увеличение масштабов сельскохозяйственного воздействия на почвенный покров требует усовершенствования управления земельными ресурсами, в частности, локальных и региональных мониторинговых наблюдений за состоянием почвенного покрова (в пределах отдельных полей и водосборов).

Эта необходимость определяет поиск эффективных инструментов анализа и интерпретации большого объема пространственных данных о структуре почвенного покрова, факторах почвообразования и характере землепользования. Всё это находит отражение в развитии геоинформационных систем, ориентированных на работу с пространственной информацией, хранимой в базе данных, а также модернизации инструментов моделирования различных уровней сложности – создания комплексных, физически обоснованных моделей, прогнозирующих результаты воздействия природных и антропогенных процессов на состояние ландшафта в каждой точке изучаемого пространства.

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Моделирование процесса водной эрозии почвенного покрова, является сложной и до конца не решенной проблемой. Одной из важнейших задач эрозионных исследований является оценка эрозионной опасности почв.

Эрозионно-опасными считаются такие почвы, где сочетания природных условий (климат, рельеф, почвообразующие и подстилающие породы, осадки) создают возможность проявления эрозии почв при их сельскохозяйственном использовании. Эрозионная опасность оценивается величиной потенциального смыва. В настоящее время существует ряд моделей эрозии почвенного покрова – AGNPS (Agricultural Non-Point-Source Pollution Model) (Young et al, 1985), WEPP (Water erosion prediction project) (Foster and Lane, 1987), USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier and Smith, 1978), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard et al) и MUSLE (Modification Universal Soil Loss Equation), реализация которых частично представлена в различных программных системах [2]. Эти модели базируются на разделении водораздела на отдельные ячейки регулярной сети и назначении каждой ячейке набора атрибутов, таких как значение уклона, длины склона, эрозионной интенсивности дождя, коэффициента эродированности почвы и др.

Большинство программных средств, полностью реализующих подобные модели, представляют собой исследовательские версии, методы и алгоритмы которых требуют дополнительного анализа и оценки эффективности. Эффективность практического использования моделей во многом определяется наличием исходной информации, поэтому при разработке современных моделей эрозии почвенного покрова ставится задача создания модели, для которой требуется минимум доступной информации.

Целью данного исследования является оценка возможности применения универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при прогнозе проявления водно-эрозионных процессов в условиях холмистого рельефа Минской возвышенности с использованием современной ГИС (ArcGis 10).

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Непосредственным объектом исследования являлись дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на легких лессовидных суглинках. В качестве тестового полигона был выбран стационар «Стоковые площадки» Минского района. Тестовый полигон «Стоковые площадки» (СПК «Щемяслица») является многолетним стационаром РУП «Институт почвоведения и агрохимии». На территории тестового полигона расположено восемь стоковых площадок, на которых проводится изучение факторов водной эрозии почвенного покрова (рис. 1). Общая площадь участка – 0,8 км². Климат региона умеренно континентальный. В среднем за год выпадает 646 мм осадков, из которых примерно 1/3 приходится на холодный, а 2/3 – на теплый период. Холодный период с преобладанием твердых и смешанных осадков приходится на ноябрь-март, теплый период преимущественно с жидкими осадками – на апрель-октябрь. Из общего количества осадков в году 75 % приходится на жидкие, 13 % – на смешанные, 12 % – на твердые. Среднегодовая температура 5,4 °С.

Эмпирическая модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), разработанная Ушмеером и Смитом и доработанная Ренардом и Фостером, является

простым математическим выражением, базирующимся на пяти основных факторах, определяющих интенсивность протекания водно-эрозионных процессов, что и обусловило ее выбор в качестве исходной в наших исследованиях. В качестве исходных данных в исследовании использовалась трехмерная модель рельефа, построенная по стереопаре аэрофотоснимков (масштаб 1:17 000), многолетние данные о факторе эрозионной интенсивности дождя, почвенные карты изучаемой территории (масштаба 1:10 000).



Рис. 1. Расположение стоковых площадок РУП «Институт почвоведения и агрохимии» на панхроматическом космическом изображении QuickBird

Пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы от эрозии (RUSLE) имеет вид (Renard et al) [3, 4]:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, (1)$$

где A – потенциальный смыл почвы, т/га в год; R – фактор эродирующей способности дождей, $\frac{\text{Мегаджоуль} \cdot \text{мм}}{\text{га} \cdot \text{час} \cdot \text{год}}$; K – фактор податливости почв эрозии, $\frac{\text{т} \cdot \text{га} \cdot \text{час}}{\text{га} \cdot \text{Мегаджоуль} \cdot \text{мм}}$; L – фактор длины склона (безразмерный); S – фактор крутизны склона (безразмерный); C – фактор растительности и севооборота (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1); P – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1).

В наших исследованиях устанавливался максимальный потенциальный смыв почвы, поэтому значения фактора растительности и севооборота (С), а также фактора эффективности противоэрозионных мероприятий (Р) принимались равными единице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность использования модели RUSLE во многом зависит от количественной интерпретации входящих в неё параметров.

В нашем исследовании значения эрозионного индекса осадков (R) устанавливались на основании традиционного подхода, предложенного Ушмеером и Смитом:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m (E)_k (I_{30})_k \right], \quad (2)$$

где E – суммарная кинетическая энергия дождя (МДж/га); I_{30} – максимальная интенсивность дождя за 30-минутный непрерывный промежуток времени; R – эрозионный индекс дождя ($\frac{\text{Мегаджоуль} \cdot \text{мм}}{\text{га} \cdot \text{час} \cdot \text{год}}$) [3, 4].

Фактор податливости почв эрозии (К) обычно определяется с использованием номограмм и формул, опубликованных Ушмеером и Смитом. Однако, в связи с тем, что эти уравнения разработаны специально для обширных участков США (для которых USLE было разработано первоначально), они дают неточные результаты при определении эрозионной устойчивости хорошо агрегированных и специфических почв в Европе. Поэтому при определении фактора эродированности почв участка нами использовался подход, предложенный Römken и усовершенствованный Ренардом:

$$K = 0,1317 \cdot 7,594 \left(0,0034 + 0,04 \exp \left[-0,5 \left(\frac{\log(D_g) + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right] \right), \quad (3)$$

где D_g – средний диаметр частиц почвы, определяющийся в соответствии со следующим выражением:

$$D_g = \exp(0,01 \sum f_i \ln(m)_i), \quad (4)$$

где f_i – доля фракции в процентах; m_i – среднее арифметическое минимального и максимального размера частиц фракции [5].

Вычисление длины склона по цифровой модели рельефа (ЦМР) является наиболее проблематичным в моделировании эрозии почвенного покрова. Существует несколько основных подходов к определению этого параметра в ГИС. Большинство из них основаны на теории мощности потока (Mitasova, 1996, Moog and Wilson, 1992, Moog and Burch, 1986) и вычислении суммарного потока (Desmet and Govers, 1996) как замены фактической длины склона. Предложенные подходы требуют реализации и усовершенствования в ГИС функций гидрологического анализа водосборов. В наших исследованиях при определении топографического фактора (LS) использовался подход модели RUSLE, модифицированный американским ученым Маккулом [4, 6].

$$LS = \left(\frac{A \cdot D}{22,1} \right)^m \left(\frac{\sin \alpha}{0,0896} \right)^n, \quad (5)$$

где A – грид-тема слоя стока, рассчитываемая на основании данных ЦМР с использованием встроенной функции гидрологического анализа в ArcGis Spatial Analyst; α – растровая тема уклонов в градусах, полученная по ЦМР с использованием инструмента Уклон ArcGis; D – длина ячейки ЦМР в метрах.

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}, \quad (6)$$

$$\beta = (\sin \alpha / 0,0896) / (3,0 \cdot (\sin \alpha)^{0,8} + 0,56). \quad (7)$$

В ArcMap расчет топографического фактора на основании указанного выражения проводится с использованием инструмента Raster Calculator.

Построение гидрологических моделей требуют безупречных, то есть логически безошибочных исходных данных, так как разрешение и точность построения ЦМР определяют правильность установления направления потока, а, следовательно, и потенциального смыва почвы. Ошибки в установлении направления потока возникают при недостаточном вертикальном разрешении полученной ЦМР, а также при пересечении линией стока большого количества ям (провалов) и неровностей поверхности природного или антропогенного характера. При низком разрешении ЦМР микроформы, уменьшающие или увеличивающие сток, не учитываются, что приводит к ошибкам в оценках потерь почвы от эрозии. Таким образом, ЦМР подразумевает наличие потенциальных ошибок в своих данных и, как следствие, наличие некоторых неточностей в полученных на их основе картах эрозионно-опасных почв.

Для ликвидации ошибок исходной ЦМР целесообразно использование методов интерполяции и аппроксимации.

Построение цифровой модели рельефа по стереопаре аэрофотоснимков (1:17 000) осуществлялось в программе PHOTOMOD. Интерполяция исходной ЦМР осуществлялась с помощью инструмента Tero to raster (модуль ArcGis Spatial Analyst). Параметры ЦМР, а также топографический фактор потенциального смыва почвы определялись ПО ArcGis 10. Значения потенциального смыва почвы, измеряемого в тоннах на гектар в год, устанавливались на основании модели эрозии почвенного покрова RUSLE с использованием программы ArcGis 10 с модулем Spatial Analyst и встроенных инструментов картографической алгебры (Hydrologic Analysis, Raster Calculator).

Определение среднего многолетнего потенциального смыва почвы осуществлялось в пределах водосбора опытного стационара «Стоковые площадки» на территории СПК «Щемьслица».

Моделирование водной эрозии почвенного покрова на основе Универсального уравнения потерь почвы от эрозии выполнялось на растровых данных в формате грид (размер ячейки 1 м). Цифровая модель рельефа на территорию тестового участка была построена по стереопаре аэрофотоснимков в программе PHOTOMOD.

Основным видом модели рельефа в модуле PHOTOMOD DTM является нерегулярная пространственная сеть треугольников – TIN (Triangulated Irregular Network).

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Нерегулярная модель рельефа **TIN** (Triangulated Irregular Network), предназначена для последующего создания по ней регулярной модели – матрицы высот (ЦМР), а также горизонталей.

Опорные точки, на основании которых была построена ЦМР, были получены с использованием GPS-приёмников в процессе полевых исследований. С помощью векторных объектов (структурных линий) уточнялись такие элементы поверхности, как бровки, тальвеги и т. п., что находит применение при создании модели рельефа территории с развитой овражно-балочной сетью.

В нашем случае TIN построена с помощью триангуляции существующих векторных объектов (рис. 2).

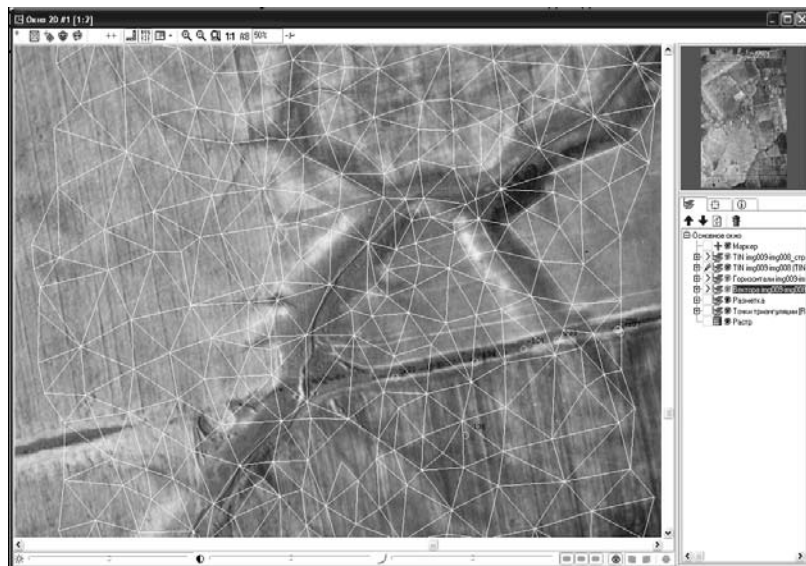


Рис. 2. TIN по векторным объектам территории тестового полигона «Стоковые площадки» (СПК «Щемяслица»)

Модель рельефа, представленная в виде нерегулярной сети треугольников TIN, являлась исходным материалом для построения горизонталей рельефа.

Полученная цифровая модель рельефа для удаления ошибочных значений, ям и локальных повышений была интерполирована в ArcGis 10 с использованием инструмента *Tin to grid*. В результате чего была получена матрица высотных отметок рельефа (размер ячейки 1x1 м, угловая единица измерения 0,01745 град, максимальная высота 378,8 м) представленная на рис. 3. Данная матрица высот являлась основой при определении топографического фактора LS. Грид-файл (матрица высот) представляет собой готовую сетку для расчетов при численном решении уравнений, определяющих динамику эрозионных процессов, протекающих на рассматриваемой территории.

Значения топографического фактора (LS) для каждой ячейки матрицы высот рассчитаны на основании формул 5, 6, 7 в модуле ArcGis Spatial Analyst. Расчет уклона склона был осуществлен на основании стандартного алгоритма ArcGis. Полученная растровая тема топографического фактора на территорию стационара «Стоковые площадки» представлена на рис. 4.

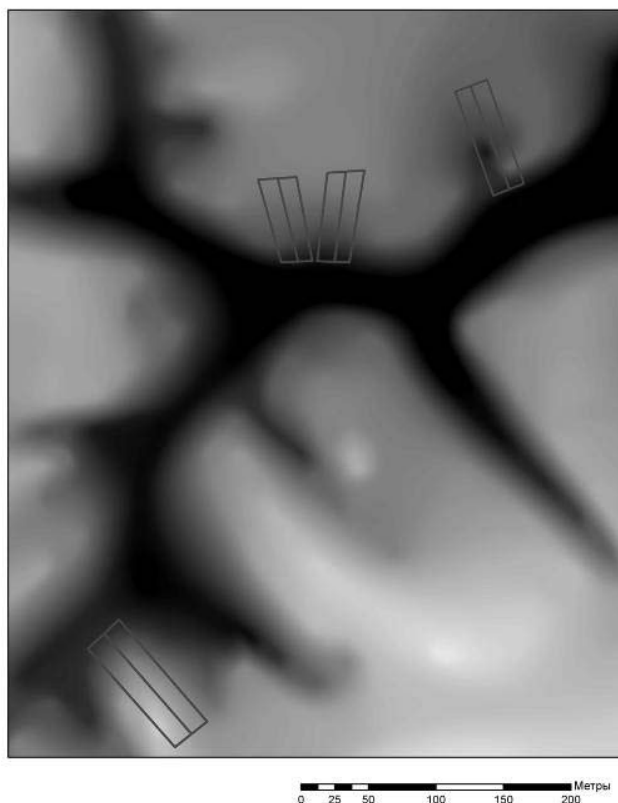


Рис.3. Матрица высотных отметок рельефа территории тестового полигона «Стоковые площадки» (минимальная высота 199,9 м, средняя высота 227,98 м, максимальная высота 238,3 м, среднее квадратическое отклонение 5,62)

Значение фактора эрозионной интенсивности дождя остаётся неизменным на всей изучаемой территории. Среднее многолетнее значение фактора эрозионной интенсивности дождя определялось на основании данных о значениях фактора (май-сентябрь) полученных на гидрометеостанции «Минск» в период с 1961 по 1985 г.

Оценка фактора эрозионной устойчивости почв к эрозии выполнен на основании данных почвенной карты территории исследования масштаба 1:10 000. После оцифровки карта была переведена в растровый формат с использованием ПО ArcGis 10. Почвы исследуемого участка дерново-палево-подзолистые, развивающиеся на мощных пылеватых (лессовидных) легких суглинках. Значения параметра D и фактора противоэрозионной стойкости почв (K) были рассчитаны на основании данных о размере преобладающих фракций и их процентном соотношении в почве. В поверхностном (пахотном) горизонте дерново-палево-подзолистой почвы, развивающейся на мощных пылеватых (лессовидных) легких суглинках, преобладает фракция размером частиц 0,05-0,01 мм – 63,3 %, содержание фракции размером частиц 0,01 мм и менее – 20,7 %, 0,25-0,05 мм – 15,2 %, 1-0,25 мм – 0,7 %.



Рис. 4. Отображение результирующего растрового слоя топографического фактора эрозии LS территории тестового полигона «Стоковые площадки» (максимальное значение 378,8, минимальное значение 0, среднее значение 1,68, среднее квадратическое отклонение 5,03)

Значение параметра D , вычисленное на основании формулы 4, равняется 0,03, значение фактора эрозионной устойчивости почв к эрозии определялось на основании формулы 3 и составляет $0,042 \frac{\text{т} \cdot \text{га} \cdot \text{час}}{\text{га} \cdot \text{Мегаджоуль} \cdot \text{мм}}$.

Значения потенциального смыва почвы были установлены путем перемножения значений факторов, входящих в уравнение с использованием картографической алгебры (инструмент Raster Calculator ArcGis 10). В результате чего была получена растровая тема потенциального смыва почвы, представленная на рис. 5.

Данные о величине потенциального смыва почвы, полученные с использованием предлагаемой методики, в целом хорошо согласуются с имеющимися в лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии РУП «Институт почвоведения и агрохимии» многолетними результатами полевых наблюдений за интенсивностью эрозии при различном использовании почв опытного стационара. При этом необходимо отметить более значительные различия фактических и расчетных данных на склонах с уклоном более 7 градусов. Однако такие земли практически не используются в качестве обрабатываемых.



Рис. 5. Отображение результирующего растрового слоя потенциального смыва почвы территории тестового полигона «Стоковые площадки»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее достоверное построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) основано на данных топографической съёмки, однако проведение подобных исследований на обширных или труднодоступных территориях зачастую невозможно, или экономически невыгодно. В этой связи целесообразно создание эффективных инструментов построения ЦМР по стереоданным аэрофото- и космосъёмки, в частности для целей почвенно-эрозионного моделирования. Это требует решения ряда вопросов по определению оптимального разрешения (вертикального и горизонтального) ЦМР при вычислении уклонов и длин склонов, входящих в модель RUSLE.

Применение эмперической модели RUSLE для оценки среднего многолетнего потенциального смыва почвы с использованием современных ГИС-технологий в условиях Республики Беларусь может быть признана перспективной. Исполь-

зование рассмотренного способа позволит оперативно проводить мониторинг почвенных ресурсов при составлении и обновлении почвенных карт. Выявление эрозионно-опасных участков почвенного покрова позволит своевременно корректировать направление ведения сельского хозяйства и предупредить потерю плодородного слоя почвы от эрозии.

Однако для получения корректных данных о потенциальном смыве почвы необходимо провести ряд теоретических и экспериментальных исследований по определению факторов, входящих в уравнение. В частности, при определении фактора эродированности почвы целесообразно учесть процентное содержание гумуса в почве. Кроме того необходимо проанализировать возможность применения других подходов к определению топографического фактора LS и алгоритма расчета уклона склона.

Анализ полученных данных о потенциальном смыве почвы на территории тестового полигона «Стоковые площадки» Минского района показал некоторое его завышение на склонах с уклоном более 7 градусов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионно-опасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси / БелНИИПА; под ред. А. Ф. Черныша. – М, 2003.

2. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / А. С. Керженцев [и др.]; Ин-т фундамент. проблем биологии РАН. – М.: Наука, 2006. – С. 224

3. Wischmeier, W. H. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // DC: Science and Educational Administration, US department of Agriculture. – Washington, 1978. – P. 400.

4. Predict Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). / K. G. Renard [et al]; Agricultural Research Service. – Washington, 1997. – P. 404.

5. Römken. The soil erodibility factor: a perspective // Soil erosion and conservation / Moldenhauer and Lo. – Ankeny, 1985.

6. Revised Soil Loss Equation / D. K. McCool [et al] // Transactions of American Society of Agricultural Engineers. – 1989. – №32(5) – P.1571-1576.

RUSLE MODEL IMPLEMENTATION FOR ESTIMATION INTENSIVITY OF WATER EROSION PROCESSES ON BELARUSSIAN SOIL COVER

E. N. Gorbacheva

Summary

The main results of RUSLE-GIS model implementation for soil loss estimation in Minsk region are presented. The conclusions about necessity of methods of soil loss factors correction and determination of DEM optimal spatial resolution for different scale of mapping are drawn.

Поступила 10 ноября 2011 г.

ТИПОЛОГИЯ ДЕФЛЯЦИОННООПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ ПОЛЕСЬЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Н. А. Лихацевич¹, Ю. П. Качков², А. Ф. Черныш¹

¹*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

²*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Применение разработанной в бывшем СССР и Беларуси системы почвенного районирования в известной мере отвечало сложившимся производственно-экономическому и природному потенциалу и способствовало разработке зональных систем земледелия. В последнее время данная система районирования приобрела выраженный экологический акцент [1]. Тем не менее, актуальным и необходимым представляется переход на ландшафтно-адаптивную систему земледелия, базирующуюся на максимальном учете региональных и, особенно, локальных почвенно-экологических условий. На нее должны опираться размещение сельскохозяйственного производства на территории страны, региональная и внутрихозяйственная специализации.

В соответствии с существующей схемой почвенно-экологического районирования высшей таксономической единицей в Беларуси является провинция, выделение которой основывается на общности климатических (тепло- и влагообеспеченность территории, продолжительность вегетационного периода, средняя температура воздуха наиболее холодного и теплого месяцев, годовой ход температуры почвы), геоморфологических (макрорельеф), литологических условий (генетические группы почвообразующих пород). Для выделенных в Беларуси Северной, Центральной и Южной почвенно-экологических провинций характерен определенный состав и соотношение земельных угодий, степень сельскохозяйственной освоенности, набор основных сельскохозяйственных культур и главные особенности агротехники.

Выделение почвенно-экологических районов, представляющих второй таксономический уровень, опирается на региональные особенности мезорельефа и почвообразующих пород. Если почвенно-экологическую провинцию образует макроструктура почвенного покрова, то почвенно-экологический район формируют мезоструктуры почвенного покрова, состоящие из генетически разных почвенных мезокомбинаций. Районы характеризуются определенным участием в составе почвенного покрова эродированных, эрозионноопасных, переувлажненных, завалуненных и других почв, обуславливающих экологическую неустроенность территории. Почвенно-экологические районы отличаются также пригодностью почв для возделывания определенных сельскохозяйственных культур, потребностью в необходимых мероприятиях по снижению негативного влияния и устранению факторов, лимитирующих плодородие почв и эффективное использование земель.

Всего на территории республики выделено 40 почвенно-экологических районов [2]. Для большинства из них характерна значительная неоднородность почвенного

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

покрова, нуждающаяся в ее адекватном отображении и агропроизводственной интерпретации. Решение данной проблемы возможно через проведение почвенно-экологического микрорайонирования и типологии земель [3].

Применявшаяся до сих пор форма агрономического толкования материалов почвенного обследования (агропроизводственная группировка почв), не в полной мере учитывала на практике требования объединения почв для целей их рационального использования. Например, отсутствовала характеристика производительной способности почв, не принимались во внимание условия залегания почв по рельефу, размеры их контуров. В результате выделы на картограммах оказывались несоизмеримы с единицами хозяйственного использования. Существующие методические разработки по классификации земель до некоторой степени решают проблему агрономической интерпретации неоднородности почвенного покрова за счет выделения сочетаний почв. Однако их количество в отдельных землепользованиях может быть слишком большим (до 15-20), это существенно затрудняет их практическое использование, вследствие чего приходится признать данный подход не слишком удачным.

Цель данной работы заключается в выполнении типологии земель Белорусского Полесья с учетом степени дефляционной опасности почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследований была выбрана наиболее типичная для Южной провинции республики территория Лунинецкого административного района. Для этой территории было выполнено почвенно-экологическое микрорайонирование, а на примере СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района осуществлена типология земель. Был использован опыт проведения подобных работ других стран, в частности, Литвы и Молдовы. В технологическом отношении работы выполнялись на почвенной карте района в масштабе 1: 50000 и хозяйства в масштабе 1: 10000, с привлечением гипсометрических, геоморфологических, ландшафтных карт и карт четвертичных отложений.

Многочисленные материалы почвенных исследований свидетельствуют не только о разнообразии почвенного покрова Белорусского Полесья, сложности его строения, большом количестве составляющих его компонентов, образующих различные комбинации, но и о том, что их распространение подчиняется определенным закономерностям. Различные соотношения условий почвообразования, проявление закономерностей географического распространения почв, развитие определенных процессов, способствуют обособлению отдельных территорий, отличающихся почвенно-экологической спецификой, определяющей их агропроизводственный облик. Такие территории предлагается выделять как на уровне почвенных микрорайонов, так и типов земель.

Дифференциация почвенно-экологических микрорайонов по характеру использования с более точным выбором направления их хозяйственной деятельности может быть осуществлена при проведении типизации земель сельхозпредприятий, с учетом количественной оценки потенциальной дефляционной опасности.

Тип земель представлен в виде агрономической интерпретации большого многообразия компонентов почвенного покрова, выделяемых на почвенных картах. Данная форма типологии земель разрабатывалась российскими, украинскими,

прибалтийскими, белорусскими исследователями. В той или иной форме подобный подход использовался ранее учеными-аграриями дальнего зарубежья, а практически был реализован в 70-х годах в Украине, где под типом земель понимался отчетливо обнаруживаемый на местности участок, соизмеримый с единицами хозяйственного пользования, с однородным строением рельефа и одной группой почвообразующих пород [5]. Нами впервые предлагается при проведении типологии земель использовать количественную оценку потенциальной дефляционной опасности почв, наиболее широко представленных в регионе. Среднеголетние темпы дефляции на почвах Полесья определялись с использованием методики прогноза Г. А. Ларионова [4]. К основным факторам, обуславливающим проявление дефляционных процессов, относятся дефляционный потенциал ветра (ДПВ) и дефлируемость почвы. Дефляционный потенциал ветра является интегральным показателем, характеризующим особенности ветрового режима в пределах исследуемой территории, и рассчитывается по следующему уравнению:

$$ДПВ(B_i) = 0,001 \sum_1^{12} \bar{u}_j^3 f_j \frac{1}{1 + 10^{8(1 - \bar{u}_j / u_{oi})}}, \quad (1)$$

где ДПВ (B_i) – дефляционный потенциал ветра для i -й пороговой скорости; u_j – средняя скорость ветра для j -й скоростной градации, м/с; f_j – повторяемость ветров j -й скоростной градации от общего числа наблюдений за месяц, %; u_{oi} – пороговая скорость ветра, м/с; 0,001 – коэффициент пропорциональности.

С использованием уравнения (1) дефляционный потенциал ветра может быть рассчитан для любой его пороговой скорости – 5, 10 и 15 и т. д. м/с, так как перенос ветром мелкозема на различных разновидностях почв Беларуси фиксируется при разных его скоростях. Пороговыми скоростями ветра минеральных легких по гранулометрическому составу почв являются скорости в 5-6 м/с, а для осушенных торфяников – 9-10 м/с [6]. Наибольший интерес представляют не среднегодовые величины ДПВ, а его значения за наиболее дефляционноопасный период года (апрель, май, сентябрь и октябрь), когда почвы сельскохозяйственных земель в наибольшей степени подвержены ветровому переносу.

Дефлируемость почв зависит от их агрофизических свойств, и в первую очередь, прочностных характеристик ее зерен, которые определяются гранулометрическим составом, содержанием гумуса и карбонатов. Для расчета относительной характеристики противодефляционной устойчивости почв Полесья (Пд) используется формула:

$$Пд = 24,7 + 0,9a + 0,3b - 0,4d + C^{0,85}, \quad (2)$$

где a – содержание ила (<0,001 мм), %; b – содержание мелкого песка (0,05-0,25 мм), %; d – содержание среднего и крупного песка (>0,25 мм), %; C – содержание органического вещества, %.

Легкие по гранулометрическому составу минеральные почвы, а также осушенные деградированные торфяные почвы характеризуются низкой дефляционной устойчивостью. С использованием формулы 2 установлена количественная оценка дефлируемости наиболее распространенных в Полесье песчаных почв – рассчитан коэффициент относительной противодефляционной устойчивости почв (Пд).

Для расчета среднеголетних темпов дефляции (Д) применялась эмпирическая зависимость:

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

$$D = CZ (1 + 10^{4.44 - 0.4Z})^{-1}, \quad (3)$$

где D – интенсивность дефляции, т/га в год; C – коэффициент пропорциональности; Z – рассчитывается по формуле:

$$Z = ViK_b^{mBi-0.22},$$

где Vi – дефляционный потенциал ветра при определенной пороговой скорости; K_b – агродефляционный индекс севооборота (вычисляется аналогично агроэрозионному индексу); m – коэффициент, равный при пороговых скоростях ветра 5, 7, 9, 11, 15 м/с соответственно: 1,695; 1,691; 1,673; 1,637; 1,509.

На основе тщательного изучения состава почв Белорусского Полесья и количественной оценки среднесуточных темпов дефляции выполнена типизация почвенного покрова [7].

Типы земель, выделенные с учетом степени дефляционной опасности почв, являются связующим звеном между почвенно-экологическим микрорайоном и реальным почвенным покровом. Количество типов земель в зависимости от природной основы, особенностей почвенного покрова может варьировать в широком диапазоне, оно не всегда коррелирует с неоднородностью почвенного покрова. Типы земель по сути раскрывают агропроизводственное содержание почвенно-экологического микрорайона. При проведении типологии земель ведущим критерием выделения типов нами были приняты почвенные мезокомбинации, их компонентный состав и соотношение основных компонентов. Документальной основой при этом служили почвенные карты масштаба 1: 10000. Выделенные типы земель были приурочены к определенным категориям рельефа, они характеризовались помимо состава почвенного покрова количественными показателями его сложности, контрастности, оценивалось также их экологическое состояние и производительная способность почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Южная почвенно-экологическая провинция располагается в двух геоморфологических областях – равнины и низины Предполесья и собственно Полесская низменность. Предполесские равнины и низины (Пружанская, Солигорская, Светлогорская, Стрешинская, Тереховская) несут в себе некоторые черты Центральной части Беларуси (например, моренное подстилание почв) и типичные элементы полесских ландшафтов – обширные низинные болота и выработанные речные долины [8]. Выделенные здесь почвенно-экологические микрорайоны достаточно широко освоены в сельскохозяйственном отношении, несмотря на распространение переувлажненных и заболоченных площадей. Этому благоприятствует равнинный рельеф и преобладание дерново-подзолистых супесчаных почв, подстилаемых моренным суглинком. В качестве почвообразующих пород могут встречаться также лессовидные суглинки и супеси. Микрорайоны лесохозяйственного назначения тяготеют к зандровым низинам, сложенным песками. Значительная часть микрорайонов, расположенных на водоразделах, загрязнена радионуклидами, при этом нередко в средней и даже сильной степени, что обуславливает ограничения сельскохозяйственного использования. В их числе находятся также микрорайоны, приуроченные к широким поймам.

На большей части своей территории Южная почвенно-экологическая провинция приурочена к Полесской низменности, которую отличает широкое развитие сильнозаболоченных аллювиальных, озерно-аллювиальных и водно-ледниковых равнин и низин (Малоритская, Брестская, Случско-Оресская, Василевичская, Логишинская, Лунинецкая, Речицкая, Лельчицкая, Комаринская), с обширными низинными болотами и доминированием песчаных отложений.

Лунинецкий район является типичным полесским районом. На его территории выделено 10 типов земель:

- 1) высокие волнистые песчаные земли;
- 2) повышенные плосковолнистые супесчаные на песках земли;
- 3) пониженные равнинные слабопереувлажненные песчаные на песках земли;
- 4) пониженные плоские средне- и сильнопереувлажненные песчаные на песках земли;
- 5) котловинно-ложбинные и террасные маломощные торфяные преимущественно осушенные земли;
- 6) котловинно-ложбинные низинные мощные торфяные, преимущественно осушенные земли;
- 7) котловинные переходные верховые торфяные, местами осушенные земли;
- 8) пойменные слабо- и средне переувлажненные супесчаные на песках земли;
- 9) пойменные средне-сильнопереувлажненные суглинистые земли;
- 10) пойменные сильнопереувлажненные супесчано-песчаные земли.

Из них четыре микрорайона располагаются на водоразделе в пределах абсолютных высот 132-140 м, один приурочен к надпойменной террасе Припяти и Бобрка и один микрорайон занимает поймы Припяти, Бобрка и Случи. Наиболее распространен тип 1, приуроченный к водораздельной части. Значительные площади этого типа земель заняты лесами. Менее распространены те же почвы, но либо слабопереувлажненные (тип 3), либо средне- и сильнопереувлажненные (тип 4). Сельскохозяйственные угодья сосредоточены преимущественно в границах осушенных торфяных почв, распространенных в котловинах, долинах, террасах речных долин.

Типология земель с учетом степени дефляционной опасности почв осуществлена на примере ключевого для Южной почвенно-экологической провинции сельхозпредприятия «Новое Полесье» Лунинецкого района (рис.).

Это хозяйство отражает полесскую специфичность природы и хозяйствования – земли здесь осушены и используются в интенсивном земледелии. Почвы – торфяные низинного типа, а также в меньшей степени дерновые заболоченные почвы. Значительная часть почв к настоящему времени деградировала, что было выявлено на этапе типизации земель (таб.). Территория СПК «Новое Полесье» вытянута с севера на юг на 30 км, она захватывает значительную часть осушенного низинного болота (обширное Гричинское болото), водораздельную плоско-волнистую поверхность, сложенную песками, надпойменные и пойменные террасы р. Припять. Всего в пределах хозяйства выделено 7 типов земель. Среди обрабатываемых земель широко распространен 5-й тип – низкие плоские торфяные осушенные, находящиеся длительное время в условиях интенсивной обработки. Данный тип подразделяется на подтипы по степени деградации торфяных почв на недеградированные, слабо-, средне-, сильно- и очень сильнодеградированные. Слабая степень деградации отмечается также в 4 и 6 типах земель.

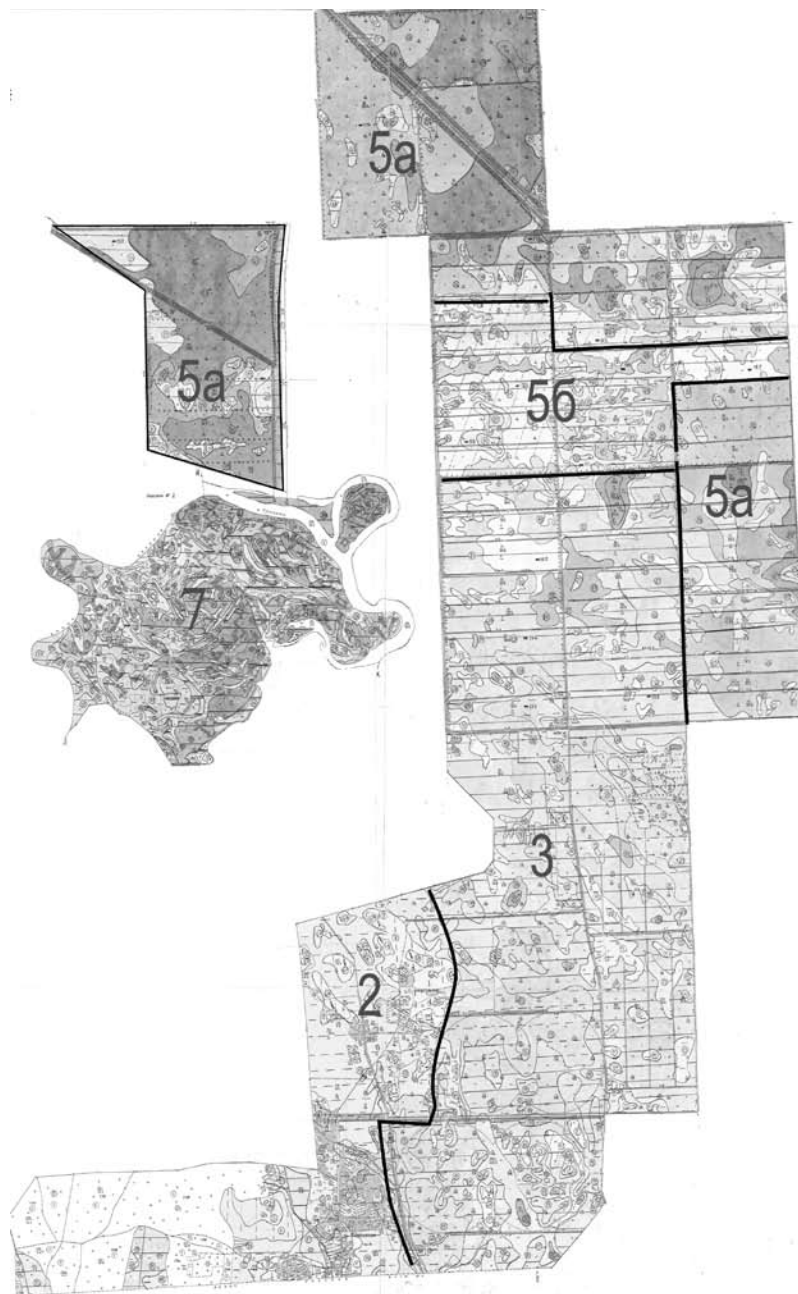


Рис. Типы земель СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района (фрагмент)

Максимальная неоднородность почвенного покрова зафиксирована в подтипе 5б, образованном очень сильно- и сильнодеградированными почвами. Большая неоднородность наблюдается также в типах земель, где присутствуют слабodeградированные торфяно-минеральные почвы (типы 3, 4, 5а, 6), наряду с собственно песчаными почвами.

**Типы и подтипы земель и среднеголетние темпы дефляции почв
СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района, (фрагмент)**

| Ин- дексы типов и под- типов земель | Типы и подтипы земель | Состав почвенного покрова, % | | | | | | Органи- ческое вещест- во, % | Темпы дефля- ции, т/га в год |
|--|---|------------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | ДП ₃ | Д ₃ ос | ТНос | | | | | |
| | | | | T _r T ₁ ос | T _{2,3} ос | T _{д1} ос | T _{д2} ос | | |
| 2 | Пониженные равнинные заболоченные песчаные | 85 | 15 | - | - | - | - | менее 3,0 | менее 3,0 |
| 3 | Пониженные плоские заболоченные песчаные осушенные слабодegradированные | 5 | 85 | 5 | - | 5 | - | 5-3 | 3,1-6,0 |
| Низкие плоские торфяные осушенные в разной степени деградированные | | | | | | | | | |
| 5а | Слабодegradированные | - | 5 | 80 | 5 | 10 | - | 40-30 | 6,1-9,0 |
| | Среднедеградированные | - | 25 | 50 | - | 25 | - | 30-20 | 9,1-12,0 |
| 5б | Сильнодеградированные | - | 20 | 15 | - | 30 | 35 | 20-10 | 12,1-15,0 |
| | Очень сильнодеградированные | - | 15 | 20 | - | 15 | 50 | 10-5 | более 15,0 |
| ДП ₃ - дерново-подзолистые заболоченные; Д ₃ ос – дерновые заболоченные осушенные; ТНос - торфяные низинные осушенные; T _r ос- торфянисто- и торфяно-глеевые осушенные; T ₁ ос - маломощные торфяные осушенные; T ₂ ос - среднемощные торфяные осушенные; T ₃ ос - мощные торфяные осушенные; T _{д1} ос - слабо- и среднедеградированные торфяные осушенные; T _{д2} ос - очень сильно и сильнодеградированные торфяно-минеральные осушенные. | | | | | | | | | |

По гранулометрическому составу выделенные типы земель образуют либо песчаные, либо торфяные почвы. По степени увлажнения преобладают глееватые, хотя в отдельных типах доминируют либо слабogleеватые, либо, наоборот, глеевые почвы. Дерново-подзолистые почвы отмечаются в основном в лесах. Степень деградации варьирует в очень широких интервалах – 5-70 %. Балл кадастровой оценки сельскохозяйственных и пахотных земель составляет 28,2 и 30,2, что выше районного уровня (26,7 и 25,4).

Недеградированных осушенных торфяных почв осталось очень мало (4,0 %). Также мало (3,2 %) очень сильно и сильнодеградированных почв, представленных минеральными остаточно-торфяными почвами с содержанием органического вещества 5-20 %, составляющими ядро типа 5б. Тип 5а образован слабо- и очень слабодegradированными торфяно-минеральными средне- и сильноминерализованными почвами с содержанием органического вещества 20-40 %, которые сочетаются в основном с торфяно-глеевыми и маломощными торфяными почвами. К относительно высокой пойме р. Припять, местами осушенной и представленной

1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

очень пестрым сочетанием торфно-болотных почв, находящихся в стадии деградации, и дерновыми заболоченными супесчано-песчаными почвами приурочен 6-й тип земель. Сложное строение имеет также 4-й тип земель, в составе которого преобладают переувлажненные песчаные почвы и торфяно-болотные почвы низинного типа, приуроченные к небольшим осушенным котловинам, и захваченные в той или иной степени процессами деградации. Те же процессы характерны для 3-го типа земель для осушенных минеральных (преимущественно дерновых) почв. Типы земель 1 и 2 образованы автоморфными и заболоченными дерново-подзолистыми песчаными почвами, 7-ой тип – пойменный, представлен дерновыми заболоченными суглинистыми почвами.

На примере выделенных типов земель нами разработаны следующие предложения по экономически эффективному и экологически безопасному использованию почвенно-земельных ресурсов. Наибольшая степень проявления деградации почвенного покрова отмечается в подтипе земель 5б, в котором очень сильно и сильнодеградированные минеральные остаточнo-торфяные почвы занимают $\frac{1}{2}$ его площади. Учитывая их самую высокую дефляционную опасность (более 15,0 т/га), низкое содержание остаточного количества органического вещества и предрасположенность к минерализации, наиболее приемлемый путь использования таких почв – вывод из сельскохозяйственного оборота и отведение под постоянное залужение. Аналогичный подход должен быть соблюден к использованию земель подтипа 5г, включающий 35 % очень сильно и сильнодеградированных почв, которым при ином характере использования грозит такое же будущее, как землям подтипа 5д.

Земли подтипа 5а, образованные слабо- или среднедеградированными торфяными почвами, с содержанием органического вещества 20-40 % можно использовать в сельскохозяйственном обороте при строгом соблюдении норм и приемов щадящего земледелия, с насыщением севооборотов многолетними травами 50-70 %.

В 3-м типе земель, включающем осушенные дерновые заболоченные песчаные почвы, могут наблюдаться процессы оподзоливания, а в местах появления карбонатов подобные почвы превращаются в карбонатные солончаки, сопровождаемые значительным ухудшением плодородия почв. Этот тип земель следует использовать под посевы сидеральных промежуточных культур, а осушение карбонатных почв совсем нежелательно [3].

Тип земель 2, образованный дерново-подзолистыми заболоченными почвами песчаного гранулометрического состава, целесообразно использовать под нетребовательные сельскохозяйственные культуры, а отдельные массивы отводить под залесение (тип 1) или оставить в естественном состоянии (тип 2), как пастбища с умеренным выпасом скота.

Выделен пойменный тип (7) земель, представленный дерновыми заболоченными суглинистыми почвами, такие территории следует сохранять в естественном состоянии, с использованием в качестве сенокосных угодий.

Выделенные на рисунке типы и подтипы земель привязаны в основном к мелиоративным каналам. В ряде случаев граница проходит по дорогам, дамбам, контурам угодий, границам небольших ареалов почв, контрастирующих с общим почвенным фоном, разделяя таким образом массивы типов земель на отдельные участки. Типы земель в этом случае служат основой формирования единиц хо-

зяйственного пользования – полей севооборотов, рабочих участков, пастбищных массивов. При этом их современные границы далеко не всегда совпадают с границами, установленными на основе материалов типизации земель.

В зависимости от особенностей почвенного покрова в состав компонентов одного и близкого к нему типа земель могут входить разные почвы. Типы земель не имеют пока общей номенклатуры, на данном этапе исследований их можно рассматривать как агропроизводственные группировки, и только при воссоединении с производственными участками они становятся типами земель. При этом одни типы земель могут быть присущи конкретному почвенно-экологическому микрорайону, другие типы земель фигурируют в разных микрорайонах. Таким образом, в отличие от микрорайонов и других таксонов тип земель является понятием типологическим.

ВЫВОДЫ

1. Большая неоднородность почвенного покрова, характерная для Белорусского Полесья, определяет целесообразность и необходимость проведения на ее территории почвенно-экологического микрорайонирования и типизации земель. Типизация почвенного покрова является существенным шагом в агропроизводственной интерпретации земельных ресурсов.

2. Типы земель, выделенные на основании доминирующей мезокомбинации почв, позволяют дифференцировать почвенно-экологические микрорайоны по характеру их функционального использования. Количество типов земель зависит от особенностей природной основы и не всегда коррелирует с неоднородностью почвенного покрова.

3. Материалы типологии земель наряду с почвенно-экологическим микрорайонированием непосредственно отвечают требованиям регионального и локального размещения и специализации сельскохозяйственного производства, являясь основой ландшафтно-адаптивного земледелия. Эти материалы отвечают также запросам ведения лесного хозяйства, сохранения природных и рекреационно-значимых ценностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черныш, А. Ф. Критерии выделения таксономических единиц при почвенно-экологическом районировании территории Беларуси / А. Ф. Черныш, Н. И. Смеян // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда Бел. общества почвоведов. – Минск, 2001. - С. 229-232.

2. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозивноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации; А. Ф. Черныш/ Под ред. – Минск, 2005. – 52 с.

3. Фридланд, В. М. Карта агропочвенного микрорайонирования как обязательное приложение к районной почвенной карте / Тезисы докладов III совещания по структуре почвенного покрова. – М., 1976. - Почвенный ин-т им. Докучаева. – С. 188-191.

4. Ларионов, Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки / Г. А. Ларионов. – М.: МГУ, 1993. – 200 с.

5. Андрущенко Г. А. Опыт сельскохозяйственной типологии земель на Украине / Г. А. Андрущенко [и др.] // Почвенные комбинации и их генезис. – М.: Наука, 1972. – С. 72-80.

6. Жилко, В. В. Ветровая эрозия почв и борьба с ней / В. В. Жилко, Л. М. Ярошевич // Проблемы Полесья. – Минск, 1974. – Вып. 3. – С. 94-111.

7. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 44 с.

8. Черныш, А. Ф. Опыт почвенно-экологического районирования в Беларуси / А. Ф. Черныш, Ю. П. Качков // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 5-8 июня 2011 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2011. – С. 156-158.

TIPOLOGY OF WIND EROSION DANGEROUS LANDS OF POLESYE AND THEIR USE

N. A. Lihatskevich, J. P. Kachkov, A. F. Chernysh

Summary

Methodical approaches of the typology of lands of Polesye are considered in the article. The application of quantitative estimation of soils potential wind erosion danger by carrying out of the lands typology is suggested. Main criterions of land types distinguishing are determined, typology of lands by the example of farm «Novoe Polesye» of Luninecky district and the functional division of the lands are realized.

Поступила 13 декабря 2011 г.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.872:631.445:631.8.022.3

ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ГУМУСА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ И СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

**Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, О. М. Бирюкова,
Е. Г. Мезенцева, Р. Н. Бирюков**

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Комплексный учет и целенаправленное регулирование всех агроэкологических факторов при возделывании сельскохозяйственных культур являются основой высокой и устойчивой продуктивности почв пахотных земель. Содержание гумуса и его качественный состав относят к наиболее приоритетным показателям плодородия почв, определяющим функционирование агрономически значимых свойств и режимов почв и способствующих достижению устойчивого гумусового состояния в агроценозах. На современном этапе развития сельскохозяйственного производства формирование гумусового состояния почв в агроэкосистемах зависит от влияния не только природных, но, в большей степени, агротехногенных факторов. Более высокую агрономическую ценность имеет гуматный тип гумуса по сравнению с фульватным в связи, с чем применяемые агротехнические приемы должны быть направлены на увеличение содержания гуминовых кислот в составе гумуса, что рассматривается как положительное явление, обуславливающее повышение уровня почвенного плодородия в целом.

Гумусовое состояние почв пахотных земель в значительной степени зависит от применения органических удобрений, способствующих вовлечению в хозяйственно-биологический круговорот элементов минерального питания, отчуждаемых с урожаем. Согласно многочисленным исследованиям органические удобрения обеспечивают не только стабильное воспроизводство гумуса в пахотных почвах, но и оказывают положительное влияние на перераспределении групп и фракций почвенного гумуса [1-5].

В Республике Беларусь при современном уровне интенсификации земледелия для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель среднегодовая доза органических удобрений должна быть не менее 12 т/га, что в 1,3 раза больше, чем было внесено в 2010 г. (9,1 т/га). Расчеты показывают, что с учетом имеющегося поголовья скота (на 01.01.2010 г.) может быть заготовлено 46,8 млн. т навоза и компостов (или 84 % от потребности в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса) [6]. Это указывает на то, что фактическое внесение органических удобрений не способствует сохранению

достигнутого уровня гумусного состояния почв. Для предотвращения угрозы деградации почв пахотных земель необходимо предусмотреть ряд превентивных мер, включающих не только насыщение севооборотов зелеными удобрениями, расширение посевов многолетних бобовых трав, почвозащитное регулирование структуры посевов, но и поиск альтернативных мало затратных и эффективных источников пополнения органического вещества почвы. При сложившихся условиях дополнительным источником органического вещества почвы является применение соломы в качестве удобрения без отчуждения из агроценоза.

Запашка соломы в значительной степени оптимизирует физические свойства почвы: увеличивает влаго- и воздухопроницаемость, водоудерживающую способность, уменьшает плотность, повышает скважность, увеличивает поглотительную способность и буферность, улучшает оструктуривание почв [7, 8]. Применение соломы в качестве удобрения способствует также улучшению функционирования агроэкосистемы за счет возврата в почву биофильных элементов. Химический анализ соломы показал, что при запашке 1 т соломы сельскохозяйственных культур в биологический круговорот возвращается в среднем 5,3 кг азота, 2,7 кг фосфора и 19,1 кг калия [6].

При оценке соломы, как органического удобрения, важное значение имеет влияние ее на гумусовое состояние почв, обусловленное высоким содержанием в ней органического вещества (целлюлоза, пентозаны, гемицеллюлоза, лигнин), которое служит источником формирования различных гумусовых веществ [9]. В 1 тонне соломы содержится до 470-480 кг органического углерода, что в 3,5-4,0 раза выше, чем в подстилочном навозе.

В связи с необходимостью поиска путей рационального подхода к использованию удобрений, оптимизации почвенных условий и сохранению почв как экологической системы, изучение влияния различных систем удобрения, в том числе запашки соломы, на показатели качества гумуса представляет научно-практический интерес.

Цель исследований – изучить особенности изменения группового и фракционного состава гумуса дерново-подзолистых легкосуглинистой и супесчаной почв под влиянием различных систем удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния различных систем удобрения на фракционно-групповой состав гумуса в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв выполнены в 2006-2011 гг. в двух стационарных полевых опытах, заложенных в СПК «Щемяслица» Минского района и РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района.

В СПК «Щемяслица» Минского района почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке. Перед закладкой опыта почва пахотного слоя характеризовалась следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} – 5,4-5,7, содержание P_2O_5 (0,2 М HCl) – 275-315 мг/кг, K_2O (0,2 М HCl) – 180-200 мг/кг почвы, гумуса (0,4 М $K_2Cr_2O_7$) – 1,65-1,80 %. Общая площадь делянки – 56 м² (7 × 8), учетная – 45 м² (6 × 7,5).

В РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района почва опытного участка – дерново-подзолистая супесчаная на морене. Пахотный

слой исследуемой почвы перед закладкой опыта имел следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 5,6-5,9, содержание P_2O_5 (0,2 М HCl) – 140-160 мг/кг, K_2O (0,2 М HCl) – 160-180 мг/кг почвы, гумуса (0,4 М $K_2Cr_2O_7$) – 2,23-2,52 %. Общая площадь делянки – 72 м² (4 × 18), учетная – 48 м² (3 × 16).

Исследования проводили в севообороте со следующим чередованием культур: кукуруза гибрид Родник – яровой рапс Антей – озимое тритикале Вольтарио – люпин узколистный Прывабны – яровой ячмень Батька.

Опыты развернуты в двух полях на разных уровнях использования органических удобрений: уровень 1 – традиционная система удобрения (8 вариантов), уровень 2 – традиционная система удобрения с дополнительным использованием побочной продукции (солома ярового рапса, озимого тритикале, люпина узколистного, ячменя – 8 вариантов). Исследования проводили методом расщепленных делянок, повторность вариантов четырехкратная. Всего в каждом опыте по 16 вариантов в двух полях (по 128 опытных делянок).

Минеральные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата, хлористого калия, сульфата аммония (под рапс) вносили в основное внесение. Азотные удобрения в виде карбамида в зависимости от культуры были внесены в основное внесение и в подкормки. Органические удобрения в виде солоमистого навоза крупного рогатого скота (КРС) вносили под кукурузу. Под все культуры севооборота (за исключением кукурузы) вносили весь фактический урожай соломы предшественника. Компенсирующие дозы минерального азота рассчитаны с учетом создания оптимального соотношения C: N = 20-30: 1. Разравнивание, как и удаление соломы с делянок согласно схеме опыта по вариантам проводили вручную.

Среднегодовые дозы удобрений за севооборот составили $N_{87}P_{58}K_{118}$; навоза – 4 т/га, 8 и 12 т/га. В вариантах с запашкой побочной продукции массу запахиваемой соломы определяли по ее фактическому урожаю непосредственно на делянках. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве среднегодовая доза запаханной соломы в среднем составила 3,0 т/га, на супесчаной – 2,1 т/га.

Групповой и фракционный состав гумуса определяли по схеме И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [10]. Содержание гумуса определяли по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 М $K_2Cr_2O_7$) (ГОСТ 26213-91) [11]. В опытах содержание гумуса и его фракционно-групповой состав определяли в почвенных образцах, отобранных по деляночно после окончания ротации севооборота. Отбор почвенных образцов в опытах был произведен осенью после уборки сельскохозяйственных культур.

Математическая обработка экспериментального материала проведена дисперсионным методом с использованием пакета Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено, что в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в вариантах без заправки соломы содержание гумуса варьировало в пределах 1,65-1,78 % ($C_{общ}$ 0,96-1,03 %).

Анализ группового состава гумуса показал, что в данной почве преобладали фульвокислоты, содержание которых в среднем в вариантах без заправки соломы составило 30,8 %, что превышало содержание гуминовых кислот в 1,3 раза (табл. 1).

2. Плодородие почв и применение удобрений

В группе гуминовых кислот преобладали гуминовые кислоты 1-й фракции, содержание 2-й и 3-й фракций гуминовых кислот, связанных с кальцием и устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами было значительно ниже. В среднем содержание ГК-1 составило 11,1 %, ГК-2 – 5,3 % и ГК-3 – 6,8 % от общего углерода почвы (табл. 2).

В составе фульвокислот доминирующая роль также принадлежала подвижным фракциям ФК-1а и ФК-1, количество которых достигало в среднем в вариантах без заправки соломы 5,9 и 15,4 % соответственно при низком содержании 2-й фракции (3,7 % от общего углерода почвы).

В варианте без удобрений суммарное содержание гуминовых кислот характеризовалось минимальной величиной (22,4 % от общего углерода почвы) при соотношении $C_{ГК}/C_{ФК}$ равным 0,71.

Таблица 1

Влияние систем удобрения на групповой состав гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, % к общему углероду почвы

| Вариант | Без заправки соломы | | | | С заправкой соломы | | | |
|-------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| | гуминовые кислоты (ГК) | фульвокислоты (ФК) | негидролизующий остаток (НО) | $C_{ГК}/C_{ФК}$ | гуминовые кислоты (ГК) | фульвокислоты (ФК) | негидролизующий остаток (НО) | $C_{ГК}/C_{ФК}$ |
| Без удобрений | 22,4 | 31,6 | 46,0 | 0,71 | 22,6 | 31,4 | 46,0 | 0,72 |
| $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 22,7 | 31,5 | 45,8 | 0,72 | 22,9 | 31,8 | 45,3 | 0,72 |
| Навоз, 4 т/га – Фон 1 | 22,4 | 31,6 | 46,0 | 0,71 | 23,1 | 30,7 | 46,2 | 0,75 |
| Фон 1 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 22,9 | 31,8 | 45,3 | 0,72 | 23,6 | 30,9 | 45,4 | 0,76 |
| Навоз, 8 т/га – Фон 2 | 23,2 | 30,5 | 46,3 | 0,76 | 23,7 | 29,6 | 46,7 | 0,80 |
| Фон 2 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 23,9 | 30,6 | 45,5 | 0,78 | 24,3 | 29,9 | 45,8 | 0,81 |
| Навоз, 12 т/га – Фон 3 | 24,1 | 29,4 | 46,5 | 0,82 | 25,0 | 28,0 | 47,0 | 0,89 |
| Фон 3 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 24,6 | 29,6 | 45,8 | 0,83 | 25,6 | 28,2 | 46,2 | 0,91 |

Таблица 2

Влияние систем удобрения на фракционный состав гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, % к общему углероду почвы (без заправки соломы)

| Вариант | $C_{общ.}, \% к почве$ | Фракции гуминовых кислот | | | Фракции фульвокислот | | | |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-----|-----|----------------------|------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 1а | 1 | 2 | 3 |
| Без удобрений | 0,96 | 10,3 | 5,2 | 6,9 | 6,1 | 16,0 | 3,5 | 6,0 |
| $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 0,99 | 11,0 | 4,7 | 7,0 | 6,5 | 16,3 | 3,1 | 5,6 |
| Навоз, 4 т/га – Фон 1 | 0,97 | 10,3 | 5,2 | 6,8 | 6,0 | 16,0 | 3,5 | 6,1 |
| Фон 1 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 1,01 | 11,2 | 4,9 | 6,8 | 6,4 | 16,4 | 3,2 | 5,8 |
| Навоз, 8 т/га – Фон 2 | 0,99 | 10,8 | 5,6 | 6,8 | 5,5 | 15,0 | 3,9 | 6,1 |
| Фон 2 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 1,02 | 11,9 | 5,2 | 6,8 | 5,8 | 15,6 | 3,5 | 5,7 |
| Навоз, 12 т/га – Фон 3 | 1,02 | 11,3 | 6,0 | 6,8 | 5,3 | 13,5 | 4,6 | 6,0 |
| Фон 3 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 1,03 | 12,0 | 5,8 | 6,8 | 5,5 | 14,0 | 4,3 | 5,8 |

Минеральная система удобрения не оказывала влияния на групповой состав гумуса, однако, способствовала некоторому увеличению фракций ГК-1, ФК-1а и ФК-1 при снижении содержания фракций ГК-2, ФК-2 (табл. 2).

Применение навоза в дозе 4 т/га севооборотной площади также не повлияло на фракционно-групповой состав гумуса, вследствие чего отношение суммы гуминовых кислот к сумме фульвокислот находилось на уровне варианта без удобрений. Внесение 40-60 т/га органических удобрений за севооборот оказало большее влияние на обеспеченность гумуса гуминовыми кислотами и, прежде всего, агрономически ценной фракцией ГК-2. Наблюдалось также некоторое увеличение ФК-2, содержание подвижных фракций фульвокислот при этом снижалось. Отмечено, что на фоне среднегодовой дозы навоза 12 т/га содержание фракций ГК-2 и ФК-2, достигая соответственно 6,0 и 4,6 % от общего углерода почвы, характеризовалось максимальными величинами при минимальном содержании ФК-1а (5,5 %) и ФК-1 (13,5 %). Стабилизирующее влияние подстилочного навоза, внесенного в дозах 8-12 т/га севооборотной площади, на гумусовое состояние легкосуглинистой почвы благодаря увеличению суммы гуминовых кислот до 23,2-24,1 % и уменьшению суммарного содержания фульвокислот до 30,5-29,4 % обеспечило расширение соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ до 0,76-0,82 (табл. 1, 2).

Применение 20 т/га навоза за севооборот в сочетании с минеральными удобрениями оказало незначительное влияние на фракционно-групповой состав гумуса, вследствие чего отношение гуминовых кислот к фульвокислотам увеличилось всего на 0,1 по сравнению с вариантом без удобрений. При органоминеральной системе удобрения, предусматривающей внесение навоза в дозе 8 т/га севооборотной площади и $N_{87}P_{58}K_{118}$, суммарное относительное содержание гуминовых кислот составило 23,9 %, в результате чего отношение $C_{ГК}$ к $C_{ФК}$ достигло 0,78. Максимальной величиной, равной 0,83, отношение гуминовых кислот к фульвокислотам характеризовалось в варианте при среднегодовом внесении 12 т/га навоза и $N_{87}P_{58}K_{118}$ (табл. 1, 2).

На фоне заправки соломы фракционно-групповой состав гумуса по вариантам опыта трансформировался по аналогии с вариантами без использования побочной продукции. Установлено, что использование соломы способствовало направлению процесса гумусообразования в гуматную сторону, на что указывает увеличение относительного суммарного содержания гуминовых кислот, сумма фульвокислот уменьшалась в основном за счет подвижных фракций ФК-1а и ФК-1, вследствие чего отношение $C_{ГК}$ к $C_{ФК}$ расширялось (табл. 1 и 3).

При заправке соломы показатели фракционно-группового состава в варианте с внесением навоза в дозе 4 т/га севооборотной площади были равнозначны таковыми, полученными на фоне применения 8 т/га навоза без использования побочной продукции: сумма гуминовых кислот достигла 23,1 % при относительном суммарном содержании фульвокислот 30,7 %, в результате чего отношение $C_{ГК}:C_{ФК}$ находилось на уровне 0,75 (табл. 3).

Сочетание 40-60 т/га навоза за ротацию севооборота с заправкой соломы обеспечило дальнейшее обогащение почвенного гумуса гуминовыми кислотами и снижение содержания фракций ФК-1а и ФК-1, способствуя увеличению его гуматности и расширяя отношение гуминовых кислот к фульвокислотам до 0,80-0,89 (табл. 3), содержание гуминовых кислот (25,6 % от общего углерода почвы) на фоне заправки соломы точно также как и в вариантах, где побочная продукция не запахивалась,

2. Плодородие почв и применение удобрений

выявлено при органоминеральной системе удобрения, предусматривающей применение 12 т/га навоза и $N_{87}P_{58}K_{118}$ при отношении $C_{ГК}/C_{ФК}$ равным 0,91.

Таблица 3

Влияние систем удобрения на фракционный состав гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, % к общему углероду почвы (с запашкой соломы)

| Вариант | $C_{общ.}, \%$ к почве | Фракции гуминовых кислот | | | Фракции фульвокислот | | | |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----|-----|----------------------|------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 1а | 1 | 2 | 3 |
| Без удобрений | 0,93 | 10,5 | 5,1 | 7,0 | 6,0 | 15,9 | 3,5 | 6,0 |
| $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 0,96 | 11,3 | 4,8 | 6,8 | 6,4 | 16,4 | 3,1 | 5,9 |
| Навоз, 4 т/га – Фон 1 | 0,93 | 10,8 | 5,4 | 6,9 | 5,6 | 14,9 | 4,0 | 6,2 |
| Фон 1 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 0,97 | 11,8 | 5,1 | 6,7 | 6,1 | 15,2 | 3,5 | 6,1 |
| Навоз, 8 т/га – Фон 2 | 0,96 | 11,2 | 5,9 | 6,6 | 5,1 | 13,7 | 4,6 | 6,2 |
| Фон 2 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 0,98 | 12,0 | 5,6 | 6,7 | 5,6 | 14,2 | 4,1 | 5,9 |
| Навоз, 12 т/га – Фон 3 | 0,97 | 11,8 | 6,6 | 6,6 | 4,8 | 12,1 | 5,1 | 6,0 |
| Фон 3 + $N_{87}P_{58}K_{118}$ | 1,01 | 12,8 | 6,2 | 6,6 | 5,1 | 12,5 | 4,7 | 5,9 |

Исследования по изучению фракционно-группового состава гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы показали аналогичность его трансформации под влиянием различных систем удобрения изменениям на легкосуглинистой почве.

В зависимости от систем удобрения в вариантах без заправки соломы сумма гуминовых кислот варьировала в пределах 22,5-24,6 %, фульвокислот – 30,6-33,0 %, обеспечивая отношение гуминовых кислот к фульвокислотам на уровне 0,69-0,79 (рис.).

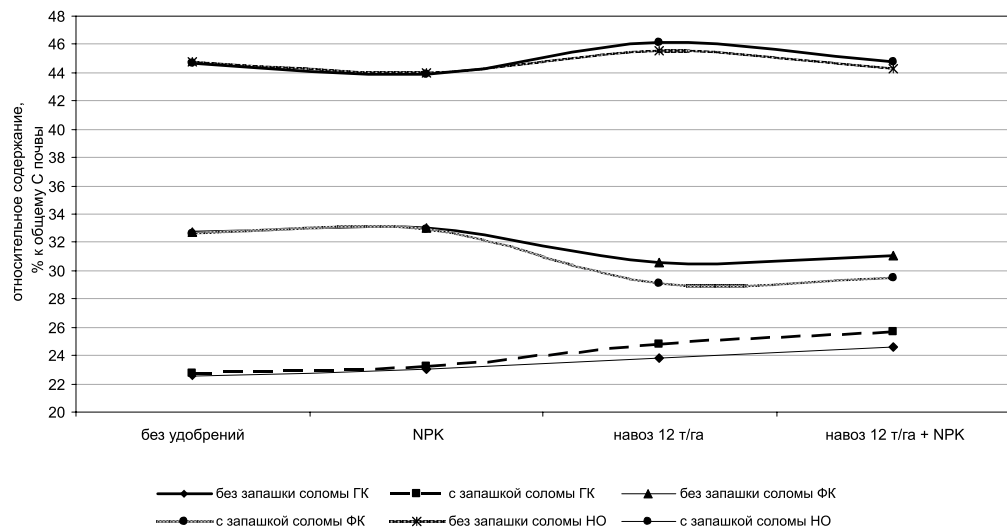


Рис. Влияние систем удобрения на групповой состав гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы, % к общему углероду почвы

В супесчаной почве содержание подвижных фракций (ГК-1, ФК-1а, ФК-1) в 1, 1-1,3 раза превышало их содержание в легкосуглинистой почве. В то время как накопление фракций ГК-2, ГК-3 и ФК-3, связанных с кальцием и устойчивыми полуторными оксидами, и глинистыми минералами, характеризовалось более низкими параметрами (табл. 4).

Таблица 4

Влияние систем удобрения на фракционный состав гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы, % к общему углероду почвы

| Вариант | C _{общ.} % к почве | Фракции гуминовых кислот | | | Фракции фульвокислот | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|-----|-----|----------------------|------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 1а | 1 | 2 | 3 |
| без заправки соломы | | | | | | | | |
| Без удобрений | 1,37 | 13,5 | 3,6 | 5,4 | 7,0 | 17,9 | 3,6 | 5,0 |
| N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,27 | 14,4 | 3,3 | 5,3 | 7,4 | 18,3 | 3,3 | 4,9 |
| Навоз, 4 т/га – Фон 1 | 1,28 | 13,5 | 3,6 | 5,5 | 7,0 | 17,6 | 3,6 | 4,9 |
| Фон 1 + N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,30 | 14,7 | 3,4 | 5,2 | 7,3 | 18,0 | 3,4 | 5,1 |
| Навоз, 8 т/га – Фон 2 | 1,36 | 14,0 | 3,9 | 5,1 | 6,7 | 16,6 | 3,9 | 5,1 |
| Фон 2 + N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,40 | 15,2 | 3,7 | 5,0 | 7,0 | 17,1 | 3,7 | 5,1 |
| Навоз, 12 т/га – Фон 3 | 1,30 | 14,5 | 4,3 | 5,0 | 6,3 | 15,5 | 4,3 | 5,0 |
| Фон 3 + N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,33 | 15,7 | 3,9 | 5,0 | 6,5 | 16,1 | 3,9 | 5,0 |
| с заправкой соломы | | | | | | | | |
| Без удобрений | 1,40 | 13,7 | 3,6 | 5,4 | 6,9 | 17,8 | 3,0 | 4,9 |
| N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,32 | 14,7 | 3,4 | 5,1 | 7,3 | 18,0 | 2,5 | 5,1 |
| Навоз, 4 т/га – Фон 1 | 1,34 | 14,0 | 3,7 | 5,4 | 6,7 | 16,5 | 3,5 | 5,0 |
| Фон 1 + N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,30 | 15,3 | 3,5 | 5,0 | 7,1 | 16,6 | 3,1 | 5,2 |
| Навоз, 8 т/га – Фон 2 | 1,29 | 14,5 | 4,2 | 5,0 | 6,3 | 15,4 | 3,9 | 5,0 |
| Фон 2 + N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,31 | 15,7 | 3,7 | 5,0 | 6,4 | 15,9 | 3,5 | 5,0 |
| Навоз, 12 т/га – Фон 3 | 1,38 | 15,0 | 4,8 | 5,0 | 5,8 | 14,0 | 4,3 | 5,0 |
| Фон 3 + N ₈₇ P ₅₈ K ₁₁₈ | 1,32 | 16,3 | 4,4 | 5,0 | 6,1 | 14,5 | 3,9 | 5,0 |

В вариантах, где заправляли солому, наблюдалось увеличение суммарного содержания гуминовых кислот при снижении суммы фульвокислот, что обеспечило расширение C_{ГК}/C_{ФК} до 0,70-0,87 (табл. 4).

Независимо от систем удобрения для супесчаной почвы характерно более узкое отношение гуминовых кислот к фульвокислотам по сравнению с легкосуглинистой почвой, что обусловлено более высоким содержанием фульвокислот.

ВЫВОДЫ

1. Органическая (8-12 т/га навоза в год) и органоминеральная (8-12 т/га навоза в сочетании с N₈₇P₅₈K₁₁₈) системы удобрения, увеличивая содержание гуминовых кислот в составе гумуса, способствовали повышению его гуматности. В данных вариантах в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве отношение C_{ГК}/C_{ФК} уве-

2. Плодородие почв и применение удобрений

личилось до 0,76-0,83 против 0,71 в варианте без удобрений; в супесчаной – до 0,73-0,79 против 0,69.

2. При запашке соломы показатели фракционно-группового состава в дерново-подзолистых почвах в вариантах с внесением подстилочного навоза в дозе 4 т/га севооборотной площади были равнозначны таковыми, полученными на фоне применения 8 т/га органических удобрений без использования побочной продукции.

3. Запашка соломы на фоне органической и органоминеральной систем удобрения обеспечивала сдвиг процесса гумусообразования в гуматную сторону, расширяя соотношение гуминовых кислот к фульвокислотам в легкосуглинистой почве до уровня 0,75-0,91, в супесчаной – до 0,73-0,87.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянчикова, З. И. Содержание и состав гумуса в почвах при интенсивном земледелии / З. И. Лукьянчикова // Почвоведение. – 1980. – №6. – С. 78-90.

2. Лыков, А. М. Страж плодородия / А. М. Лыков. – М.: Московский рабочий, 1976. – 112 с.

3. Влияние минеральных и различных видов органических удобрений на гумусонакопление в почве / В. И. Матвеева [и др.] // Проблемы накопления и использования органических удобрений: материалы науч. конф., Минск, 17-18 сент. 1975 г. / БелНИИПА; редкол.: С. Г. Скоропанов [и др.]. – Минск, 1976. – С. 105-113.

4. Влияние длительного применения удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах Европейского северо-востока / Н. Т. Чеботарев [и др.] // Агрохимия. – 2009. – №10. – С. 11-16.

5. Донских, И. Н. Групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой суглинистой почвы при различных системах удобрения / И. Н. Донских, А. В. Назарова, О. Эвани // Агрохимия. – 1997. – №5. – С. 20-27.

6. Рекомендации по применению различных видов органических удобрений под сельскохозяйственные культуры / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. В. В. Лапа. – Минск, 2010. – 40 с.

7. Солома – органическое удобрение: рекомендации / В. А. Деревягин, М. Е. Кравченко, И. В. Русакова / ВНИПТИОУ; под ред. В. А. Деревягина. – Владимир, 1989. – 66 с.

8. Система удобрений в полевых севооборотах (методические рекомендации) / А. Я. Жежер, Г. И. Ефимова / ВАСХНИЛ Сиб. отд-ние. СибНИИЗХим; под ред. А. Я. Жежер. – Новосибирск, 1990. – 20 с.

9. Попов, П. Д. Расчет баланса соломы в хозяйстве: метод. рекомендации / П. Д. Попов, М. Н. Новиков; ВНИПТИОУ; под ред. П. Д. Попова. – Владимир, 1987. – 10 с.

10. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова; Центр. музей почвоведения им. В. В. Докучаева. – Л., 1975. – 105 с.

11. Практикум по агрохимии / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 1998. – 270 с.

CHANGE OF FACTIONAL-GROUP HUMUS COMPOSITION ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY AND SANDY-LOAM SOILS UNDER INFLUENCE OF THE DIFFERENT FERTILIZER SYSTEMS

**E. N. Bogatyrova, T. T. Seraya, O. M. Biryukova,
E. G. Mezentsava, R. N. Biryukov**

Summary

In the conditions of the field experiments on sod-podzolic soils of different texture the influence of the different fertilizer systems on the change of humus quality indexes was studied. The most effective reception providing flowing of humification processes in humic direction, is the application of organic and organic-mineral fertilizer system in combination with straw ploughing.

Поступила 10 октября 2011 г.

УДК 631.8.022.3:631.445.2:633.15

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

**Т. М. Серая, О. М. Бирюкова, Е. Н. Богатырева,
Е. Г. Мезенцева, Р. Н. Бирюков**

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Среди растений семейства злаковых кукуруза является наиболее продуктивной сельскохозяйственной культурой. Ее широко возделывают во всех странах для производства кормов и продуктов питания [1-3]. Благодаря высокой урожайности, кормовым достоинствам и технологичности возделывания, площади посевов кукурузы в Республике Беларусь за последние годы увеличились в 2 раза: с 460,4 тыс. га в 2003 г. до 960 тыс. га – в 2011 г. Зона выращивания кукурузы на силос и зерно за последнее время значительно продвинулась на север в результате селекционного процесса. Однако урожайность зеленой массы кукурузы до последнего времени остается невысокой – 240-260 ц/га.

Кукуруза относится к растениям, обладающим большим потенциалом продуктивности, поэтому она предъявляет высокие требования к плодородию почвы и заправке ее удобрениями. Особое значение в удобрении кукурузы имеют органические удобрения, которые в результате постепенного высвобождения элементов питания, способны обеспечивать растения этими элементами на протяжении всего вегетационного периода. Кукуруза очень отзывчива на внесение

2. Плодородие почв и применение удобрений

органических удобрений, так как способна использовать высвобождаемые элементы питания значительно лучше, чем зерновые культуры [3, 4]. По последним рекомендациям белорусских ученых-аграриев лучшим местом в севообороте для применения органических удобрений, особенно жидких, является внесение под кукурузу.

Наряду с традиционными видами органических удобрений в последние годы в республике применяется новый вид органических удобрений – отходы производства биогаза. В настоящее время в Республике Беларусь работают три биогазовые установки. В соответствии с постановлением Совета Министров №885 от 9.06.2010 г. в Беларуси реализуется республиканская программа по строительству биогазовых комплексов, рассчитанная на 2010-2012 гг., согласно которой до 2012 года будет введено в эксплуатацию еще 39 биогазовых установок. В литературных источниках встречаются достаточно противоречивые данные по влиянию органических удобрений, получаемых на выходе биогазовых установок на урожайность сельскохозяйственных культур. По некоторым данным [5, 6] внесение вышеназванных удобрений обеспечивает дополнительный прирост урожайности сельскохозяйственных культур в среднем на 20-30 % по сравнению с несброженным навозом. Р. Р. Визла [7] в результате проведения исследований со сброженным навозом в Латвии установил, что влияние сброженного и исходного свиного навоза на урожайность сельскохозяйственных культур одинаково, в то время как эквивалентные дозы минеральных удобрений были эффективнее. А. В. Клочков и Д. В. Кацер [8] отмечают, что по сравнению с непереработанным навозом, отходы производства биогаза повышают урожайность на 10-15 %.

В связи с тем, что в процессе анаэробной переработки навоза часть органического вещества минерализуется и соответственно уменьшается количество органического азота и увеличивается количество минерального (аммонийного) азота, дозы применения органических удобрений, получаемых на выходе биогазовых установок, требуют уточнения в сравнении с традиционными видами органических удобрений. Поэтому актуальными являются исследования по изучению влияния органических удобрений, получаемых на выходе биогазовых установок, на урожайность, качество сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели почвы в условиях Республики Беларусь.

Цель исследований – изучить влияние внесения органических удобрений под кукурузу на урожайность зеленой массы, вынос и баланс основных элементов питания с урожаем на дерново-подзолистой супесчаной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение эффективности применения органических удобрений на урожайность и качество зеленой массы кукурузы проводили в стационарном опыте, заложенном в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой оглеенной внизу супесчаной почве, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка: pH_{KCl} 5,5-5,63; содержание гумуса – 2,21-2,41 %; P_2O_5 – 155-205 мг/кг; K_2O – 22-246 мг/кг.

Гибрид кукурузы Дельфин возделывали в 2010-2011 гг. в звене севооборота: кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале. Опыт развернут в двух полях, в четырехкратной повторности вариантов.

Минеральные удобрения – фосфорные (аммонизированный суперфосфат), калийные (хлористый калий) вносили весной под предпосевную культивацию; азотные (карбамид) весной (N_{90}) и в качестве подкормки в фазу 6-8 листьев (N_{60}). Органические удобрения – куриный помет, органическое удобрение, получаемое на выходе биогазовой установки, жидкий навоз КРС вносили весной под вспашку.

Показатели качества органических удобрений по годам исследований были следующими:

▶ 2010 г. – ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки: N – 0,51 %, P_2O_5 – 0,26 %, K_2O – 0,26 %, органическое вещество – 2,42 %, влажность – 96 %; жидкий навоз КРС – N – 0,18 %, P_2O_5 – 0,07 %, K_2O – 0,25 %, органическое вещество – 2,28 %, влажность – 97 %; подстилочный куриный помет – N – 1,22 %, P_2O_5 – 2,43 %, K_2O – 1,56 %, органическое вещество – 29,60 %, влажность – 56 %;

▶ 2011 г. – ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки: N – 0,52 %, P_2O_5 – 0,37 %, K_2O – 0,39 %, органическое вещество – 3,98 %, влажность – 95 %; жидкий навоз КРС – N – 0,24 %, P_2O_5 – 0,16 %, K_2O – 0,28 %, органическое вещество – 2,55 %, влажность – 94 %; подстилочный куриный помет – N – 0,96 %, P_2O_5 – 1,67 %, K_2O – 0,87 %, органическое вещество – 23,98 %, влажность – 71 %.

Дозы жидкого навоза КРС, куриного помета, органического удобрения, получаемого на выходе биогазовой установки по содержанию азота соответствуют дозе азота, внесенной с карбамидом (N_{150}) в варианте с минеральной системой удобрения. Исследуются также двойные дозы органических удобрений.

Агротехника возделывания кукурузы – общепринятая для Республики Беларусь [9]. Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполняли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова (1985) с использованием соответствующих программ на компьютере. Расчет баланса элементов питания проводили по методике РУП «Институт почвоведения и агрохимии» [10].

В почвенных образцах определяли основные агрохимические показатели по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); обменную кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91).

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка по ГОСТ 26713-85; определение золы по ГОСТ 26714-85; определение общего азота по ГОСТ 26715-85; определение общего фосфора по ГОСТ 26717-85; определение общего калия по ГОСТ 26718-85.

Урожайность зеленой массы по всем вариантам приведена к влажности 75 %.

Гидротермические условия в годы исследований в целом были благоприятными для роста и развития растений кукурузы. Вегетационные периоды 2010-2011 гг. характеризовались повышенными температурами воздуха на протяжении всей вегетации и неравномерным выпадением осадков по месяцам. Более благоприятным для роста, развития и формирования урожайности зеленой массы кукурузы был 2011 г. (ГТК за вегетационный период 1,5).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ урожайных данных зеленой массы кукурузы, убранной в фазу молочно-восковой спелости, показал, что внесение органических удобрений существенно повышало урожайность зеленой массы (табл. 1). Следует отметить, что в связи с более благоприятными погодными условиями урожайность, полученная в 2011 г. в варианте без удобрений была на 55 ц/га, в удобренных вариантах – в среднем на 106 ц/га выше, чем в 2010 г.

За счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при соблюдении технологии возделывания кукурузы в среднем за два года получено 371 ц/га зеленой массы.

Применение минеральных удобрений обеспечило прибавку урожайности – 179 ц/га, при окупаемости 1 кг NPK 51 кг зеленой массы кукурузы.

Внесение органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, в дозе 30 т/га, эквивалентной по азоту дозе азота, внесенного с минеральными удобрениями, оказало достоверное влияние на урожайность возделываемой культуры, способствуя формированию 559 ц/га зеленой массы кукурузы. Прибавка урожая в этом варианте по сравнению с вариантом без удобрений составила 188 ц/га при оплате 1 т органических удобрений 627 кг зеленой массы. При этом установлено, что эквивалентные по азоту дозы минеральных удобрений и органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, характеризуются одинаковой агрономической эффективностью: урожайность зеленой массы кукурузы при внесении этих удобрений существенно не отличалась.

При сравнительной оценке традиционных видов органических удобрений, используемых для производства биогаза (куриный помет, жидкий навоз КРС), эквивалентных по дозе азота, внесенного с 30 т/га органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, установлено их аналогичное влияние на формирование урожайности зеленой массы кукурузы. Так, применение 15 т/га куриного помета и 75 т/га жидкого навоза КРС обеспечило получение урожайности на уровне 555-562 ц/га, что на 184-191 ц/га выше по сравнению с вариантом без удобрений и не превышает ошибки опыта по сравнению с вариантом, предусматривающим внесение 30 т/га органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки.

Двойные дозы органических удобрений обеспечили дальнейший рост урожайности зеленой массы кукурузы: прибавка составила 280-291 ц/га, при этом разница в урожайности между вариантами с разными видами органических удобрений была недостоверной.

Окупаемость 1 т изучаемых органических удобрений была достаточно высокой и зависела от их вида и дозы внесения. Наиболее высокая окупаемость (1227 кг зеленой массы) получена в варианте с применением 15 т/га подстилочного куриного помета, самая низкая (194 кг зеленой массы) – в варианте с внесением 150 т/га жидкого навоза КРС. Величина данного показателя для органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, в зависимости от дозы составила 482-627 кг/т. Различная окупаемость 1 т изучаемых видов органических удобрений связана с разным содержанием элементов питания и в первую очередь азота. Окупаемость 1 кг NPK, содержащегося в минеральных удобрениях, в среднем за два года составила 51 кг зеленой массы, 1 кг NPK, содержащегося

в органических удобрениях – 24-58 кг зеленой массы. При делении полученной прибавки урожая зеленой массы на количество азота во внесенном удобрении, получены достаточно близкие показатели (100-120 кг зеленой массы на 1 кг N), т. е. азот, внесенный под кукурузу с минеральными и органическими удобрениями в изучаемых дозах, имел достаточно близкую эффективность.

Таблица 1

Влияние органических удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве

| Вариант | Урожайность, ц/га | | | Прибавка, ц/га | | Окупаемость удобрений, кг зеленой массы | |
|---|-------------------|---------|---------|----------------|--------|---|----------------|
| | 2010 г. | 2011 г. | среднее | от орг. уд. | от НРК | 1 т орг. уд. | 1 кг д. в. НРК |
| Без удобрений | 343 | 398 | 371 | – | – | | – |
| N ₉₀₊₆₀ P ₆₀ K ₁₄₀ – Фон | 500 | 599 | 550 | – | 179 | | 51 |
| Жидкий навоз КРС, 75* т/га | 497 | 627 | 562 | 191 | – | 255 | – |
| Жидкий навоз КРС, 150 т/га | 608 | 716 | 662 | 291 | – | 194 | – |
| Подстилочный куриный помет, 15 т/га | 499 | 612 | 555 | 184 | – | 1227 | – |
| Подстилочный куриный помет, 30 т/га | 612 | 689 | 651 | 280 | – | 933 | – |
| ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, 30 т/га | 502 | 616 | 559 | 188 | – | 627 | – |
| ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, 60 т/га | 609 | 711 | 660 | 289 | – | 482 | – |
| НСР ₀₅ | 24 | 42 | 23 | | | | |

* Дозы органических удобрений даны средние за два года.

Содержание основных элементов питания в урожае возделываемых культур является важным критерием, характеризующим эффективность применяемых удобрений и оказывающим влияние на показатели качества растительных кормов. Анализ данных по химическому составу зеленой массы кукурузы показал, что содержание фосфора (0,68-0,78 % в 2010 г., 0,57-0,68 % в 2011 г.) и калия (1,91-2,40 % в 2010 г., 1,89-2,56 % в 2011 г.) по годам было близким, азота существенно изменялось: 1,72-1,96 % в 2010 г. и 0,84-1,47 % в 2011 г.

Вынос элементов питания с урожаем основной и побочной продукции (хозяйственный вынос) является показателем, позволяющим оценить потребность сельскохозяйственных культур в удобрениях. Установлено, что общий вынос основных элементов питания зависел от их содержания в зеленой массе и урожайности кукурузы. Минимальный вынос отмечен вариант без удобрений. Применение минеральных удобрений увеличило общий вынос азота на 81 кг/га, фосфора – на

2. Плодородие почв и применение удобрений

28, калия – на 128 кг/га (табл. 2). Близкие показатели общего выноса получены и в вариантах с внесением одинарных доз жидких органических удобрений и подстилочного помета. Максимальный хозяйственный вынос элементов питания характерен для вариантов с двойными дозами органических удобрений, где вынос азота в среднем составил 217 кг/га, фосфора – 104, калия – 327 кг/га.

Таблица 2

Вынос элементов питания зеленой массой кукурузы в зависимости от удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве

| Вариант | Хозяйственный вынос, кг/га | | | Удельный вынос, кг/т | | |
|---|----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Без удобрений | 114 | 53 | 167 | 3,1 | 1,4 | 4,5 |
| N ₉₀₊₆₀ P ₆₀ K ₁₄₀ – Фон | 195 | 81 | 295 | 3,5 | 1,5 | 5,3 |
| Жидкий навоз КРС, 75 т/га | 168 | 77 | 269 | 3,0 | 1,4 | 4,8 |
| Жидкий навоз КРС, 150 т/га | 219 | 98 | 337 | 3,3 | 1,5 | 5,1 |
| Подстилочный куриный помет, 15 т/га | 173 | 87 | 261 | 3,1 | 1,6 | 4,7 |
| Подстилочный куриный помет, 30 т/га | 216 | 107 | 320 | 3,3 | 1,6 | 4,9 |
| ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, 30 т/га | 172 | 85 | 253 | 3,1 | 1,5 | 4,5 |
| ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, 60 т/га | 215 | 106 | 324 | 3,3 | 1,6 | 4,9 |
| Среднее | 184 | 87 | 278 | 3,2 | 1,5 | 4,8 |

Удельный (нормативный) вынос питательных элементов с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции, является важным и достаточно стабильным показателем, который используется при расчете доз удобрений под планируемую урожайность. В ходе исследований установлено, что в среднем по опыту с 1 т зеленой массы кукурузы 75 % влажности удельный вынос азота составил 3,2 кг, фосфора – 1,5 кг, калия – 4,8 кг, кальция – 0,4 кг, магния – 0,4 кг.

Для оценки влияния изучаемых удобрений на плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы на основании полученных экспериментальных данных рассчитан хозяйственный баланс и реутилизация основных элементов питания (табл. 3).

Расчеты показали, что при высокой урожайности зеленой массы кукурузы внесение 150 кг азота как с минеральными, так и с органическими удобрениями было недостаточным для поддержания бездефицитного баланса азота. Небольшой положительный баланс азота получен только в вариантах с двойными дозами органических удобрений. Для поддержания бездефицитного баланса фосфора достаточным было внесение в среднем за два года 75 т полужидкого навоза и 30 т/га ОУ, получаемых на выходе биогазовой установки. В вариантах с двойными дозами этих удобрений баланс фосфора был положительным, а в вариантах с применением куриного помета интенсивность баланса составила 286 и 462 % соответственно. Что касается баланса калия, то во всех вариантах за исключением двойной дозы жидкого навоза КРС он был отрицательным. Это связано с достаточно высоким содержанием элемента в зеленой массе кукурузы, которое с увеличением дозы калия в удобрении увеличивалось и в растении.

Реутилизация характеризует повторное использование элементов питания. Установлено, что в вариантах с внесением органических удобрений в зависимости от их вида и дозы в почву возвращается 63-100 % азота, вынесенного с урожаем, 96-284 % фосфора и 33-101 % калия.

Таблица 3

**Баланс элементов питания при возделывании кукурузы
на дерново-подзолистой супесчаной почве**

| Вариант | N | | P ₂ O ₅ | | K ₂ O | |
|---|--------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| | Баланс, + кг/га | Реути- лиза- ция, % | Баланс, + кг/га | Реути- лиза- ция, % | Баланс, + кг/га | Реути- лиза- ция, % |
| Без удобрений | -116,2 | 0 | -57,1 | 0 | -199,7 | 0 |
| N ₉₀₊₆₀ P ₆₀ K ₁₄₀ – Фон | -77,4 | 0 | -27,7 | 0 | -197,6 | 0 |
| Жидкий навоз КРС, 75 т/га | -48,3 | 66 | -1,2 | 96 | -114,3 | 63 |
| Жидкий навоз КРС, 150 т/га | 25,0 | 99 | 58,0 | 152 | 7,3 | 101 |
| Подстилочный куриный помет, 15 т/га | -58,0 | 63 | 177,3 | 284 | -143,2 | 52 |
| Подстилочный куриный помет, 30 т/га | 27,5 | 99 | 426,1 | 460 | -50,5 | 86 |
| ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, 30 т/га | -51,4 | 65 | 2,8 | 101 | -197,2 | 33 |
| ОУ, получаемые на выходе биогазовой установки, 60 т/га | 29,0 | 100 | 73,6 | 161 | -176,8 | 52 |

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве максимальная урожайность зеленой массы кукурузы (689-716 ц/га) получена в вариантах с внесением двойных доз органических удобрений (60 т/га ОУ, получаемых на выходе биогазовой установки, 30 т/га подстилочного куриного помета и 150 т/га жидкого навоза КРС).

2. При возделывании кукурузы на зеленую массу применение эквивалентных доз органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, было аналогично влиянию органических удобрений, используемых для производства биогаза (куриный помет и жидкий навоз КРС), и минеральных удобрений, внесенных в дозах, выровненных по азоту. Урожайность зеленой массы кукурузы в данных вариантах в среднем за два года была на уровне 550-562 ц/га. Удельный вынос питательных элементов с 1 т зеленой массы кукурузы (75 % влажности) в среднем составил: азота – 3,2 кг, фосфора – 1,5 кг, калия – 4,8 кг, кальция – 0,4 кг, магния – 0,4 кг.

3. Окупаемость 1 т изучаемых органических удобрений была достаточно высокой и зависела от их вида и дозы внесения. Наиболее высокая окупаемость (1227 кг зеленой массы) получена в варианте с применением 15 т/га подстилочного куриного помета, самая низкая (194 кг зеленой массы) – в варианте с внесением 150 т/га жидкого навоза КРС. Величина данного показателя для органических

удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, в зависимости от дозы составила 482-627 кг/т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агробиологические основы возделывания кукурузы на зерно и силос / Н. Ф. Надточаев [и др.]. – Минск: Техносервис, 2004. – 100 с.
2. Кукуруза / Д. Шпаар [и др.]. – Минск: ФУАинформ, 1999. – 192 с.
3. Надточаев, Н. Ф. Выращивание кукурузы на силос и зерно / Н. Ф. Надточаев, С. С. Барсуков. – Минск: Ураджай, 1994. – 87 с.
4. Шпаков, А. С. Кормовые культуры и плодородие почв / А. С. Шпаков, Т. С. Бражникова // Земледелие. – 2002. – №6. – С. 4-5.
5. Гелетуха, Г. Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы (обзор) // Г. Г. Гелетуха, С. Г. Кобзарь / Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №4. – С. 3-10.
6. Гудкова, Л. К. Получение органических удобрений путем анаэробного сбраживания отходов сельскохозяйственного производства / Л. К. Гудкова, В. Ф. Пуляев, Т. В. Старченко // Аграрная энергетика в XXI столетии: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21-23 ноября 2005 г.: под ред. В. И. Русана. – Минск, 2005 – С. 255-258.
7. Визла, Р. Р. Эффективность действия сброженного навоза / Р. Р. Визла // Удобрение полевых культур в системе интенсивного земледелия / ЛатНИИ земледелия; отв. ред. Ю. А. Штиканс. – Рига, 1990. – С. 43-59.
8. Клочков, А. В. Европейский опыт производства и использования биогаза // А. В. Клочков, Д. В. Кацер / Наше сельское хозяйство. – 2011. – №1. – С. 71-76.
9. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов. – Минск: Белорусская наука, 2005. – С. 270-286.
10. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 24 с.

COMPARATIVE EFFICIENCY OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS ON SON-PODZOLIC SANDY SOIL

T. M. Seraya, O. M. Biryukova, E. N. Bogatyrova,
E. G. Mezentsava, R. N. Biryukov

Summary

It was found that under cultivation of corn for the use of green material the application of equivalent doses of organic fertilizer produced at the output of the biogas plant, was similar to the effect of organic fertilizers used for biogas production (poultry manure and cattle fluid manure) and mineral fertilizers introduced into the dose-aligned nitrogen on the sod-podzolic sandy soil.

Yield of corn green mass was at the level of 550-562 kg/ha in these options at an average of two years. Specific removal of nutrients from one ton of corn green mass (75 % moisture) averaged: N – 3.2 kg, P₂O₅ – 1.5 kg, K₂O – 4.8 kg, CaO – 0.4 kg, MgO – 0.4 kg.

Поступила 31 октября 2011 г.

ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко, М. М. Ломонос, С. М. Шумак,
А. А. Бачище, А. А. Грачева

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений в области земледелия, растениеводства и агрохимии является разработка и освоение комплексных, адаптивных энерго-сберегающих, экологически безопасных систем землепользования, обеспечивающих продуктивность пашни 70-85, луговых земель – 30-40 ц/га к. ед., снижение энергозатрат на 15-20 % на основе принципов воспроизводства почвенного плодородия.

Основой полевого травосеяния на дерново-подзолистых почвах в Беларуси следует признать клевер луговой, который без затрат азотных удобрений превосходит по продуктивности, экономической и энергетической эффективности как злаковые травы, так и бобово-злаковые травосмеси. Клевер играет большую роль в повышении плодородия почв, обогащая почву биологическим азотом. В настоящее время во всех индустриально развитых странах, обладающих хорошо развитой азотной промышленностью, проблема «биологического» азота является актуальной как в области биологических, так и сельскохозяйственных исследований. Так как, несмотря на рост производства минеральных удобрений, все еще наблюдается недостаток азота; ресурсосберегающий биологически связанный азот дает богатую полноценным белком продукцию, обогащает почву и практически не затрагивает окружающую среду. Клевер луговой, как естественный источник саморегулирования почвенного плодородия, является одним из средств экономии азотных удобрений и энергетических ресурсов [1-6].

Цель исследований – установить влияние доз фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зеленой массы клевера лугового.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению эффективности систем удобрения клевера лугового при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной, подстилаемой с глубины 30-50 см песком почве проводили в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района в 2007-2009 гг.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы: pH_{KCl} 5,9-6,2, гидролитическая кислотность – 1,58-1,92, сумма обменных оснований – 9,10-9,52 смоль (+)/кг почвы; обменные: кальций и магний 4,4-4,8 и 1,3-1,6 смоль (+)/кг почвы; содержание подвижных P_2O_5 и K_2O – 170-290 и 130-230 мг/кг почвы; гумус – 2,5-3,0 %.

2. Плодородие почв и применение удобрений

Изучали влияние доз фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зеленой массы клевера лугового Устойливы.

Минеральные удобрения (аммофос и хлористый калий) вносили весной при возобновлении вегетации растений, схема опыта приведена в табл. 1.

Общая площадь делянки 45 м², учетная – 32 м², повторность вариантов – четырехкратная.

Уход за растениями осуществляли в соответствии с отраслевыми регламентами [2].

Исследования проводили в трех полях зернотравяного севооборота: горохо-овсяная смесь – ячмень – озимая рожь с подсевом клевера лугового – клевер луговой – озимое тритикале. Органические удобрения (40 т/га навоза крупного рогатого скота) вносили под горохо-овсяную смесь.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками. В растительных образцах после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пергидроля определяли: азот и фосфор – фотоколориметрическим индофенольным и ванадо-молибдатным методами, калий – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре.

На формирование урожая сельскохозяйственных культур наряду с питанием растений большое влияние оказывают водный и температурный режимы в течение вегетационного периода. Как избыток, так и недостаток влаги и тепла негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. Наиболее близкими к формированию оптимального водного и теплового режимов являются среднепогодные показатели осадков и тепла.

Агрометеорологические условия в вегетационный период клевера лугового в 2009 г. хотя несколько и отличались от среднепогодных величин, но были самыми благоприятными для формирования урожайности зеленой массы. За апрель-август выпало 495,4 мм осадков, что на 145 мм больше средней многолетней величины (350 мм). Однако в апреле только 4,6 мм (средняя многолетняя величина 46 мм), а в июне – 255 мм (12 июня – 48,1 мм, а 23 июня – 91,5 мм при средней многолетней 78 мм). Несколько раз шквальные дожди сопровождались градом. Гидротермический коэффициент изменялся в пределах от 0,3 (апрель) до 5,6 (июнь), что позволяет сделать заключение о высоком избытке влаги не только в июне, но и в мае и в июле, так как месяцы с ГТК выше 1,6 характеризуются как избыточно влажные (рис. 1).

Агрометеорологические условия вегетационного периода 2008 г., хотя несколько и отличались от среднепогодных величин, но были благоприятными для формирования урожая сельскохозяйственных культур. За апрель-август выпало 310,1 мм осадков, что на 40 мм меньше средней многолетней величины. Обильные осадки и повышенная температура воздуха в марте и апреле ускорили начало фазы возобновления вегетации растений. В июле количество осадков было на уровне нормы, а среднемесячная температура воздуха выше на 0,6°С, что было не очень благоприятно для нарастания зеленой массы клевера.

Гидротермический коэффициент (условный показатель увлажнения) в течение вегетационного периода изменялся от 0,8 (июнь) до 1,7 (апрель), что позволяет сделать заключение о некотором недостатке влаги в мае, июне и августе, так как месяцы с ГТК от 1,0 до 1,3 относятся к слабо засушливым, от 1,0 до 0,8 (июнь) – к засушливым, а от 1,3 до 1,6 (июль) – к оптимальным (рис. 1).

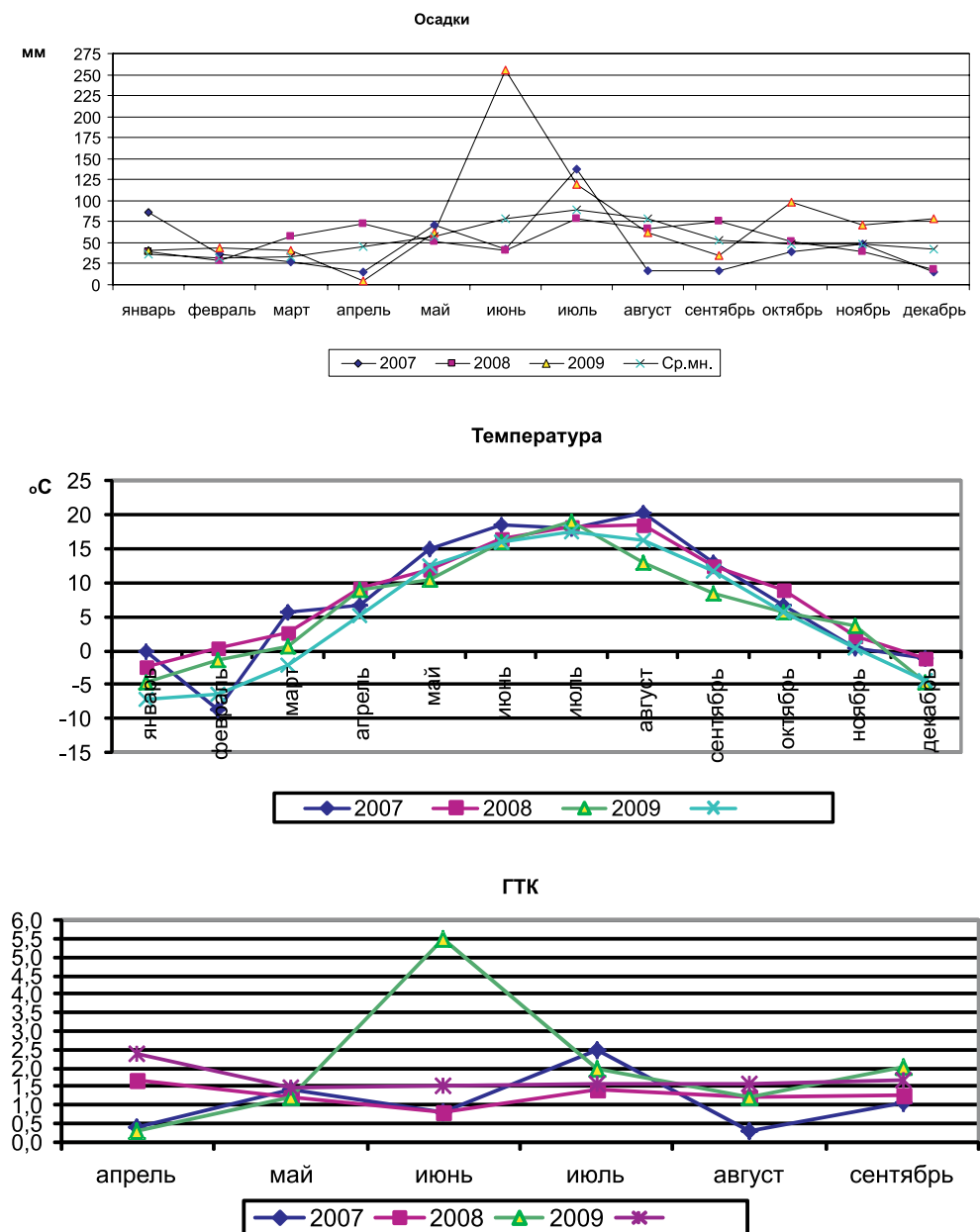


Рис. 1. Метеорологические условия в годы проведения исследований (2007-2009 гг.)

Температура воздуха всего периода вегетации 2007 г. превышала среднемноголетний уровень на 1,2-4,0°C. Количество атмосферных осадков в апреле и июне в 3 и 2 раза соответственно было меньше средней многолетней величины

Недостаток влаги и повышенная температура воздуха оказали отрицательное влияние на урожайность клевера лугового во всех вариантах опыта при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За три года исследований погодные условия 2009 г. были самыми благоприятными для развития клевера лугового. Впервые за три года урожайность зеленой массы в первом укосе формировалась на уровне 492-693 ц/га. Внесенные под покровную культуру озимую рожь азотные удобрения в дозах 60-90 кг/га снижали урожайность зеленой массы клевера 1-го укоса. Применение парных комбинаций фосфорных и калийных удобрений в дозе $P_{70}K_{120}$ достоверно урожайность не увеличило по сравнению с $P_{40}K_{80}$, но при внесении $P_{70}K_{120}$ и $P_{40}K_{80}$ урожайность зеленой массы достоверно выше, чем при дозе $P_{20}K_{40}$. Максимальная урожайность зеленой массы в 1-м укосе составила 693 ц/га. Во втором укосе урожайность зеленой массы формировалась на уровне 299-436 ц/га и практически не зависела от доз фосфорных и калийных удобрений. В сумме за два укоса получено 741-1114 ц/га зеленой массы клевера.

Таблица 1

Влияние удобрений на урожайность зеленой массы клевера лугового Устойливы первого года пользования на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2007-2009 гг.

| Удобрение | | Урожайность зеленой массы клевера, ц/га | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------|---|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|-------------|
| озимая рожь | клевер | 1 укос | 2 укос | Σ | 1 укос | 2 укос | Σ | 1 укос | 2 укос | Σ | |
| | | 2007 г. | | | 2008 г. | | | 2009 г. | | | |
| | 1. Без удобрений | 233 | 175 | 408 | 182 | 185 | 367 | 442 | 299 | 741 | |
| | 2. Последствие навоза, 40 т/га | 256 | 190 | 446 | 217 | 218 | 435 | 593 | 325 | 918 | |
| | 3. $N_{60}P_{70}$ | 3. P_{70} | 219 | 170 | 389 | 192 | 238 | 430 | 613 | 1024 | |
| | 4. $N_{60}K_{120}$ | 4. K_{120} | 187 | 207 | 394 | 182 | 276 | 458 | 620 | 1032 | |
| | 5. $P_{70}K_{120}$ | 5. $P_{70}K_{120}$ | 262 | 177 | 439 | 317 | 287 | 604 | 598 | 992 | |
| | 6. $N_{30}P_{70}K_{120}$ | 6. $P_{70}K_{120}$ | 244 | 178 | 422 | 270 | 272 | 542 | 693 | 421 | 1114 |
| | 7. $N_{60}P_{70}K_{120}$ | 7. $P_{70}K_{120}$ | 160 | 181 | 341 | 230 | 305 | 535 | 668 | 403 | 1071 |
| | 8. $N_{90}P_{70}K_{120}$ | 8. $P_{70}K_{120}$ | 182 | 179 | 361 | 229 | 267 | 496 | 488 | 389 | 877 |
| | 9. $P_{40}K_{80}$ | 9. $P_{40}K_{80}$ | 239 | 176 | 415 | 307 | 274 | 581 | 591 | 370 | 961 |
| | 10. $N_{30}P_{40}K_{80}$ | 10. $P_{40}K_{80}$ | 231 | 176 | 407 | 278 | 333 | 611 | 648 | 341 | 989 |
| | 11. $N_{60}P_{40}K_{80}$ | 11. $P_{40}K_{80}$ | 228 | 182 | 410 | 240 | 280 | 520 | 593 | 436 | 1029 |
| | 12. $N_{90}P_{40}K_{80}$ | 12. $P_{40}K_{80}$ | 203 | 192 | 395 | 205 | 246 | 451 | 606 | 373 | 979 |
| | 13. $P_{20}K_{40}$ | 13. $P_{20}K_{40}$ | 223 | 158 | 381 | 263 | 266 | 529 | 560 | 369 | 929 |
| | 14. $N_{30}P_{20}K_{40}$ | 14. $P_{20}K_{40}$ | 214 | 188 | 402 | 258 | 274 | 532 | 558 | 392 | 950 |
| | 15. $N_{60}P_{20}K_{40}$ | 15. $P_{20}K_{40}$ | 226 | 210 | 436 | 196 | 244 | 440 | 597 | 384 | 981 |
| | | НСР ₀₅ | 20,2 | 21,4 | 16,8 | 15,4 | 15,3 | 10,9 | 27 | 26,4 | 18,9 |

Максимальная урожайность на уровне 1071-1114 ц/га получена при внесении $P_{70}K_{120}$, сбор сухого вещества при этом составил 104,0-103,7 ц/га, сена – 123,8-123,4, а продуктивность – 126,7-128,4 ц/га к. ед. Пониженное количество осадков и повышенная температура воздуха в вегетационный период 2007 г. отрицательно сказались на урожайности зеленой массы клевера как первого, так и второго укосов и их суммы. Урожайность зеленой массы в первом укосе формировалась на уровне 182-262 ц/га. Внесенные под покровную культуру озимую рожь азотные удобрения

в дозах 30–90 кг/га снижали урожайность зеленой массы клевера первого укоса. Во втором укосе урожайность зеленой массы формировалась на уровне 158–210 ц/га и практически не зависела от доз фосфорных и калийных удобрений. В сумме за два укоса получено 381–446 ц/га зеленой массы клевера. Максимальная урожайность 446 ц/га получена в варианте с последствием органических удобрений (табл. 1).

В среднем за три года получена урожайность зеленой массы клевера лугового в 1 укосе на уровне 286–402 ц/га, а во 2-м укосе – на уровне 220–299 ц/га (табл. 2). В сумме за два укоса и в среднем за три года внесение $P_{70}K_{120}$ обеспечило урожайность зеленой массы клевера лугового Устойливы на уровне 578–693 ц/га. Последствие органических удобрений повысило урожайность зеленой массы на 95 ц/га. Применение только фосфорных удобрений позволило увеличить урожайность зеленой массы на 14 ц/га, а калийных – на 28 ц/га. При нарастании доз фосфорных и калийных удобрений $P_{20,40,70}K_{40,80,120}$ урожайность зеленой массы достоверно увеличивалась. Внесение азотных удобрений в дозах 60 и 90 кг/га д. в. под предшественник озимую рожь приводило к снижению урожайности зеленой массы клевера лугового – особенно в 1-м укосе. Максимальная урожайность 693 ц/га получена при применении $P_{70}K_{120}$ и внесении $N_{30}P_{70}K_{120}$ под предшественник – озимую рожь. Прибавка к фону (последствие 40 т/га навоза крупного рогатого скота) составила 93 ц/га зеленой массы. при сравнении с внесением $P_{40}K_{80}$ прибавка составила 24 ц/га. Максимальная окупаемость 1 кг д. в. удобрений зеленой массой 58 кг получена при применении системы удобрения на поддерживающие балансы фосфора и калия $P_{40}K_{80}$. Урожайность сена при стандартной влажности (16 %) составила 97,4–123,2 ц/га (табл. 2).

Таблица 2

Влияние удобрений на продуктивность клевера лугового Устойливы первого года пользования на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2007–2009 гг.

| Вариант | Урожайность клевера, ц/га | | | | Прибавка з/м, ц/га | Оплата 1 кг РК з/м, кг | Сбор, ц/га | |
|--------------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------|--------------------|------------------------|-----------------|--------|
| | зеленой массы | | | сена | | | сухого вещества | к. ед. |
| | 1 укос | 2 укос | Σ | | | | | |
| 1. Без удобрений | 286 | 220 | 505 | 97,4 | – | – | 81,8 | 106,1 |
| 2. Последствие навоза, 40 т/га | 355 | 244 | 600 | 111,0 | – | – | 93,2 | 126,0 |
| 3. P_{70} | 341 | 273 | 614 | 112,9 | 14 | 20 | 94,9 | 129,0 |
| 4. K_{120} | 330 | 299 | 628 | 109,9 | 28 | 23 | 92,3 | 131,9 |
| 5. $P_{70}K_{120}$ | 392 | 286 | 678 | 119,3 | 78 | 41 | 100,2 | 142,4 |
| 6. $P_{70}K_{120}$ | 402 | 290 | 693 | 123,2 | 93 | 49 | 103,5 | 145,5 |
| 7. $P_{70}K_{120}$ | 353 | 296 | 649 | 111,4 | 49 | 26 | 93,6 | 136,3 |
| 8. $P_{70}K_{120}$ | 300 | 278 | 578 | 100,7 | -22 | – | 84,5 | 121,4 |
| 9. $P_{40}K_{80}$ | 379 | 273 | 652 | 117,6 | 52 | 43 | 98,8 | 136,9 |
| 10. $P_{40}K_{80}$ | 386 | 283 | 669 | 117,4 | 69 | 58 | 98,6 | 140,5 |
| 11. $P_{40}K_{80}$ | 354 | 299 | 653 | 116,0 | 53 | 44 | 97,5 | 137,1 |
| 12. $P_{40}K_{80}$ | 338 | 270 | 608 | 104,5 | 8 | 7 | 87,8 | 127,7 |
| 13. $P_{20}K_{40}$ | 349 | 264 | 613 | 107,1 | 13 | 22 | 90,0 | 128,7 |
| 14. $P_{20}K_{40}$ | 343 | 285 | 628 | 113,6 | 28 | 47 | 95,4 | 131,9 |
| 15. $P_{20}K_{40}$ | 340 | 279 | 619 | 111,0 | 19 | 32 | 93,2 | 130,0 |
| НСР ₀₅ | 12 | 12 | 9 | 2,5 | | | 2,1 | 4,3 |

2. Плодородие почв и применение удобрений

Применение минеральных удобрений имеет значение и для повышения кормовой ценности клевера лугового. Для оценки качества кормов используют сбор сухого вещества и кормовых единиц, содержание и сбор сырого белка, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, кормопротеиновые единицы, содержание и соотношение основных элементов питания.

Сбор сухого вещества при оптимальной урожайности составил 103,5 ц/га и изменялся в пределах 81,8-103,5 ц/га. Сбор кормовых единиц в исследованиях находился в прямой зависимости от урожайности и изменялся в среднем за три года от 106,1 до 145,5 ц/га (табл. 2).

Содержание азота и сырого белка в зеленой массе клевера Устойливы отличалось в зависимости от погодных условий, укоса и доз фосфорных и калийных удобрений.

Максимальное количество азота и сырого белка отмечено во 2 укосе 2,34-2,79 % и 14,6-17,4 % соответственно. Среднегодовой сбор сырого белка изменялся от 11,8 в варианте без удобрений до 16,0 ц/га при внесении $P_{70}K_{120}$ и 14,5 ц/га при $P_{40}K_{80}$. Сбор кормопротеиновых единиц изменялся в пределах 100,8-138,2 ц/га при максимальном накоплении в варианте с оптимальной урожайностью (табл. 3).

Таблица 3

Качество зеленой массы клевера лугового в зависимости от доз и соотношений минеральных удобрений, среднее за 2007-2009 гг.

| Вариант | Сырой белок, % | | | Сбор сырого белка, ц/га | Сбор КПЕ, ц/га |
|----------------------------------|----------------|--------|-------------|-------------------------|----------------|
| | 1 укос | 2 укос | среднее | | |
| 1. Без удобрений | 14,0 | 15,8 | 14,9 | 11,8 | 100,8 |
| 2. Последействие навоза, 40 т/га | 13,4 | 16,1 | 14,8 | 13,4 | 119,6 |
| 3. P_{70} | 14,1 | 17,3 | 15,7 | 14,9 | 122,6 |
| 4. K_{120} | 13,4 | 17,0 | 15,2 | 14,1 | 116,9 |
| 5. $P_{70}K_{120}$ | 13,6 | 15,1 | 14,3 | 14,6 | 135,3 |
| 6. $P_{70}K_{120}$ | 14,3 | 16,4 | 15,3 | 16,0 | 138,2 |
| 7. $P_{70}K_{120}$ | 13,3 | 17,3 | 15,3 | 14,2 | 129,5 |
| 8. $P_{70}K_{120}$ | 13,1 | 16,4 | 14,7 | 12,2 | 115,3 |
| 9. $P_{40}K_{80}$ | 13,6 | 14,6 | 14,1 | 13,7 | 130,1 |
| 10. $P_{40}K_{80}$ | 14,2 | 15,6 | 14,9 | 14,5 | 133,5 |
| 11. $P_{40}K_{80}$ | 13,4 | 17,0 | 15,2 | 14,5 | 130,3 |
| 12. $P_{40}K_{80}$ | 14,4 | 17,1 | 15,8 | 14,0 | 121,4 |
| 13. $P_{20}K_{40}$ | 13,9 | 17,4 | 15,7 | 13,9 | 122,3 |
| 14. $P_{20}K_{40}$ | 13,3 | 15,8 | 14,6 | 13,5 | 125,3 |
| 15. $P_{20}K_{40}$ | 13,6 | 16,6 | 15,1 | 14,0 | 123,5 |
| НСР ₀₅ | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 1,7 |

Согласно зоотехническим требованиям, в сухой массе корма содержание фосфора должно составлять не менее 0,45 %, а калия – не более 3,5 %. В исследованиях с клевером луговым на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что в среднем за три года содержание азота, калия, кальция и магния было выше в зеленой массе 2-го укоса, а фосфор, наоборот, накапливался в зеленой массе 1-го укоса. содержание калия в обоих укосах превышало рекомендованные

нормы и изменялось в пределах 2,71-4,43 % в 1 укосе и 2,98-4,68 % во 2 укосе (табл. 4).

Важным показателем качества корма является содержание в нем кальция, который в сухой массе корма должно составлять около 1 %. содержание кальция в 1 укосе варьировало в пределах 1,05-1,27 %, магния – 0,50-0,70 %. Во втором укосе содержание кальция изменялось в пределах 1,09-1,37 %, а магния 0,53-0,79 %. Последствие органических и действие фосфорных и калийных удобрений снижало содержание кальция и магния в зеленой массе клевера лугового как в первом, так и во втором укосах (табл. 4).

Таблица 4

Содержание элементов питания в 1 и 2 укосах клевера лугового 2007-2009 гг.

| Вариант | 1 укос, % | | | | | 2 укос, % | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg |
| 1. Без удобрений | 2,24 | 0,66 | 2,71 | 1,27 | 0,70 | 2,53 | 0,58 | 2,92 | 1,35 | 0,77 |
| 2. Последствие 40 т/га навоза | 2,15 | 0,67 | 3,17 | 1,17 | 0,62 | 2,58 | 0,60 | 3,53 | 1,29 | 0,69 |
| 3. P ₇₀ | 2,26 | 0,76 | 2,86 | 1,19 | 0,69 | 2,77 | 0,63 | 3,15 | 1,37 | 0,79 |
| 4. K ₁₂₀ | 2,15 | 0,66 | 4,17 | 1,05 | 0,50 | 2,77 | 0,58 | 4,68 | 1,18 | 0,56 |
| 5. P ₇₀ K ₁₂₀ | 2,18 | 0,75 | 4,43 | 1,12 | 0,55 | 2,41 | 0,57 | 4,60 | 1,09 | 0,53 |
| 6. P ₇₀ K ₁₂₀ | 2,28 | 0,73 | 4,32 | 1,07 | 0,54 | 2,63 | 0,60 | 4,43 | 1,19 | 0,59 |
| 7. P ₇₀ K ₁₂₀ | 2,12 | 0,73 | 4,32 | 1,00 | 0,51 | 2,76 | 0,60 | 4,36 | 1,18 | 0,59 |
| 8. P ₇₀ K ₁₂₀ | 2,09 | 0,73 | 4,19 | 1,08 | 0,53 | 2,60 | 0,58 | 4,44 | 1,16 | 0,56 |
| 9. P ₄₀ K ₈₀ | 2,18 | 0,72 | 4,34 | 1,05 | 0,55 | 2,34 | 0,57 | 4,35 | 1,13 | 0,55 |
| 10. P ₄₀ K ₈₀ | 2,27 | 0,76 | 4,11 | 1,15 | 0,59 | 2,49 | 0,60 | 4,52 | 1,20 | 0,59 |
| 11. P ₄₀ K ₈₀ | 2,14 | 0,73 | 3,92 | 1,06 | 0,55 | 2,72 | 0,65 | 4,37 | 1,24 | 0,63 |
| 12. P ₄₀ K ₈₀ | 2,30 | 0,68 | 4,07 | 1,18 | 0,57 | 2,74 | 0,62 | 4,40 | 1,25 | 0,62 |
| 13. P ₂₀ K ₄₀ | 2,23 | 0,68 | 3,79 | 1,11 | 0,55 | 2,79 | 0,62 | 4,48 | 1,19 | 0,63 |
| 14. P ₂₀ K ₄₀ | 2,13 | 0,68 | 3,55 | 1,10 | 0,56 | 2,53 | 0,60 | 4,21 | 1,18 | 0,62 |
| 15. P ₂₀ K ₄₀ | 2,18 | 0,66 | 3,52 | 1,11 | 0,60 | 2,65 | 0,58 | 4,15 | 1,24 | 0,65 |
| НСР ₀₅ | 0,13 | 0,06 | 0,25 | 0,09 | 0,06 | 0,15 | 0,05 | 0,19 | 0,14 | 0,08 |

Средневзвешенное содержание фосфора в двух укосах зеленой массы клевера лугового на дерново-подзолистой супесчаной почве изменялось в пределах 0,62-0,70 %, калия в пределах – 2,33-3,74 % (табл. 5).

Наряду с содержанием калия, важное значение имеет соотношение К:(Са+Mg), величина которого важна для профилактики гипомагниевой тетании (заболевание крупного рогатого скота). Если это соотношение равно 1,4 – заболеваний нет, поэтому такое соотношение считается оптимальным. По мере возрастания отношения увеличивается и число заболеваний: 1,4-1,8 – 0,06 % от числа обследованных животных, 1,8-2,2 – 1,7 %, 2,2-2,6 – 5,1 %, 2,6-3,0 – 6,8 %, 3,0-3,4 – 17,4 %. Учитывая 5 % уровень значимости, допустимым считается соотношение К:(Са+Mg) = 2,2, условно допустимым – 2,6 [7-9]. Соотношение К:(Са+Mg) при применении P_{20,40,70} K_{40,80,120} варьировало в пределах 1,8-2,3. При последствии 40 т/га органических удобрений это соотношение равно 1,5, а при внесении на этом фоне P₇₀ – 1,2 (табл. 5).

Средневзвешенное содержание и вынос элементов питания двух укосов, 2007-2009 гг.

| | Средневзвешенное содержание элементов питания двух укосов | | | | | Соотношение $\frac{K}{Ca+Mg}$ | Общий вынос элементов питания, кг/га | | | | |
|----|---|-------------------------------|-------------|------|------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K | Ca | Mg | | N | P ₂ O ₅ | K | Ca | Mg |
| 1 | 2,37 | 0,63 | 2,33 | 1,31 | 0,73 | 1,1 | 194,2 | 51,1 | 229,8 | 107,0 | 59,7 |
| 2 | 2,32 | 0,64 | 2,75 | 1,22 | 0,65 | 1,5 | 218,6 | 59,3 | 310,5 | 114,3 | 60,9 |
| 3 | 2,49 | 0,70 | 2,48 | 1,27 | 0,74 | 1,2 | 236,3 | 66,8 | 283,8 | 120,7 | 69,9 |
| 4 | 2,42 | 0,62 | 3,66 | 1,11 | 0,53 | 2,2 | 225,1 | 57,3 | 408,5 | 103,2 | 48,9 |
| 5 | 2,28 | 0,67 | 3,74 | 1,11 | 0,54 | 2,3 | 228,9 | 66,8 | 451,5 | 110,7 | 54,3 |
| 6 | 2,42 | 0,67 | 3,62 | 1,12 | 0,56 | 2,1 | 252,1 | 69,3 | 452,4 | 116,4 | 58,4 |
| 7 | 2,41 | 0,67 | 3,60 | 1,08 | 0,55 | 2,2 | 227,0 | 62,4 | 406,2 | 101,7 | 51,3 |
| 8 | 2,34 | 0,66 | 3,58 | 1,12 | 0,55 | 2,2 | 198,2 | 55,5 | 364,6 | 94,7 | 46,2 |
| 9 | 2,25 | 0,66 | 3,61 | 1,08 | 0,55 | 2,2 | 222,5 | 64,5 | 429,4 | 107,1 | 54,3 |
| 10 | 2,36 | 0,69 | 3,56 | 1,17 | 0,59 | 2,0 | 234,2 | 67,5 | 424,7 | 115,6 | 58,3 |
| 11 | 2,41 | 0,69 | 3,42 | 1,14 | 0,59 | 2,0 | 235,4 | 67,4 | 402,9 | 111,5 | 57,5 |
| 12 | 2,50 | 0,65 | 3,50 | 1,21 | 0,59 | 1,9 | 220,4 | 57,0 | 371,1 | 106,4 | 52,2 |
| 13 | 2,47 | 0,65 | 3,39 | 1,14 | 0,58 | 2,0 | 224,2 | 58,7 | 370,2 | 103,0 | 52,6 |
| 14 | 2,31 | 0,64 | 3,20 | 1,14 | 0,59 | 1,9 | 221,8 | 61,1 | 369,5 | 108,8 | 56,2 |
| 15 | 2,39 | 0,62 | 3,16 | 1,17 | 0,62 | 1,8 | 223,7 | 57,9 | 355,5 | 109,3 | 58,2 |

В среднем за три года максимальный общий вынос азота 252,1 кг/га, фосфора 69,3 кг/га и калия 452,4 кг/га клевером луговым при применении P₇₀K₁₂₀ и внесении N₃₀P₇₀K₁₂₀ под предшественник – озимую рожь (табл. 5).

Известно, что показатель выноса элементов питания, рассчитанный на единицу основной продукции (с соответствующим количеством побочной), является величиной менее варьированной, чем хозяйственный вынос, что обусловлено некоторым саморегулированием растений путем изменения как химического состава, так и соотношения между основной и побочной продукцией. Показатель выноса элементов питания с единицей основной продукции четко характеризует особенности культур. Однако анализ многочисленных данных показывает, что и эти показатели подвергаются значительному варьированию под влиянием условий выращивания: влагообеспеченности, гранулометрического состава почвы, ее агрохимических показателей, запасов подвижных элементов питания, технологии возделывания, применения минеральных и органических удобрений, особенностей сорта и др.

Удельный вынос азота, фосфора, кальция и магния как с зеленой массой клевера лугового, так и с сеном, изменялся в довольно узких пределах: азот – 3,4-3,8 кг/т, фосфор – 0,9-1,1, калий – 4,5-6,7, кальций – 1,6-2,1 и магний – 0,8-1,2 кг/т и: азот – 18,9-21,1, фосфор – 5,2-5,9, калий – 23,6-37,8, кальций – 9,1-11,0 и магний – 4,4-6,2 кг/т соответственно (табл. 6).

Таким образом, в результате исследований на дерново-подзолистой супесчаной почве установлена продуктивность клевера лугового в зависимости от погодных условий, укоса и доз минеральных удобрений и поукосные особенности содержания элементов питания в зеленой массе и их удельный вынос.

Удельный вынос элементов питания зеленой массой и сеном 2-х укосов клевера лугового Устойливы, 2007-2009 гг.

| Вариант | Удельный вынос элементов питания, кг/т | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-------------------------------|------------------|-----|-----|-------------|-------------------------------|------------------|------|------------|
| | зеленой массой | | | | | сеном | | | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg |
| 1. Без удобрений | 3,8 | 1,0 | 4,5 | 2,1 | 1,2 | 19,9 | 5,2 | 23,6 | 11,0 | 6,1 |
| 2. Последствие навоза, 40 т/га | 3,6 | 1,0 | 5,2 | 1,9 | 1,0 | 19,7 | 5,3 | 28,0 | 10,3 | 5,5 |
| 3. P ₇₀ | 3,8 | 1,1 | 4,6 | 2,0 | 1,1 | 20,9 | 5,9 | 25,1 | 10,7 | 6,2 |
| 4. K ₁₂₀ | 3,6 | 0,9 | 6,5 | 1,6 | 0,8 | 20,5 | 5,2 | 37,2 | 9,4 | 4,4 |
| 5. P ₇₀ K ₁₂₀ | 3,4 | 1,0 | 6,7 | 1,6 | 0,8 | 19,2 | 5,6 | 37,8 | 9,3 | 4,6 |
| 6. P ₇₀ K ₁₂₀ | 3,6 | 1,0 | 6,5 | 1,7 | 0,8 | 20,5 | 5,6 | 36,7 | 9,4 | 4,7 |
| 7. P ₇₀ K ₁₂₀ | 3,5 | 1,0 | 6,3 | 1,6 | 0,8 | 20,4 | 5,6 | 36,5 | 9,1 | 4,6 |
| 8. P ₇₀ K ₁₂₀ | 3,4 | 1,0 | 6,3 | 1,6 | 0,8 | 19,7 | 5,5 | 36,2 | 9,4 | 4,6 |
| 9. P ₄₀ K ₈₀ | 3,4 | 1,0 | 6,6 | 1,6 | 0,8 | 18,9 | 5,5 | 36,5 | 9,1 | 4,6 |
| 10. P ₄₀ K ₈₀ | 3,5 | 1,0 | 6,3 | 1,7 | 0,9 | 19,9 | 5,7 | 36,2 | 9,8 | 5,0 |
| 11. P ₄₀ K ₈₀ | 3,6 | 1,0 | 6,2 | 1,7 | 0,9 | 20,3 | 5,8 | 34,7 | 9,6 | 5,0 |
| 12. P ₄₀ K ₈₀ | 3,6 | 0,9 | 6,1 | 1,8 | 0,9 | 21,1 | 5,5 | 35,5 | 10,2 | 5,0 |
| 13. P ₂₀ K ₄₀ | 3,7 | 1,0 | 6,0 | 1,7 | 0,9 | 20,9 | 5,5 | 34,6 | 9,6 | 4,9 |
| 14. P ₂₀ K ₄₀ | 3,5 | 1,0 | 5,9 | 1,7 | 0,9 | 19,5 | 5,4 | 32,5 | 9,6 | 4,9 |
| 15. P ₂₀ K ₄₀ | 3,6 | 0,9 | 5,7 | 1,8 | 0,9 | 20,2 | 5,2 | 32,0 | 9,8 | 5,2 |

ВЫВОДЫ

1. При возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве клевера лугового Устойливы урожайность зеленой массы формировалась на уровне 505-693 ц/га, сена – на уровне 97,4-123,2 ц/га. Максимальная урожайность 693 ц/га, сбор сухого вещества 103,5 ц/га и сбор кормовых единиц 145,5 ц/га получены при применении P₇₀K₁₂₀ и внесении N₃₀P₇₀K₁₂₀ под предшественник – озимую рожь.

2. Максимальная окупаемость 1 кг д. в. удобрений зеленой массой составила 58 кг и получена при применении системы удобрения P₄₀K₈₀.

3. В среднем за три года при оптимальной урожайности клевера лугового удельный вынос с 1 т зеленой массы составил: азота 3,6 кг, фосфора – 1,0, калия – 6,5, кальция – 1,7, магния – 0,8 кг; с 1 т сена: азота – 20,5 кг, фосфора – 5,6, калия – 36,7, кальция – 9,4, магния – 4,7 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

2. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 304 с.

3. Нормативы выноса и коэффициентов использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. – М., 1989. – 110 с.

4. Кулаковская, Т. Н. Основные направления исследований по увеличению использования элементов питания из удобрений / Т. Н. Кулаковская // Приемы повышения коэффициентов использования и предотвращения их потерь из почвы. – Минск, 1988. – с. 3-6.

5. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.

6. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск.: Белорусская наука, 2007. – 390 с.

7. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.

8. Харьков, Г. Д. Клевер / Г. Д. Харьков. – М.: Агропромиздат, 1989. – 49 с.

9. Кормовые нормы и состав кормов / А. П. Шпаков [и др.]. – Витебск: УО ВГАВМ, 2005. – 376 с.

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF MEADOW CLOVER AT CULTIVATION ON LUVISOL LOAMY SAND SOIL

**V. V. Lapa, N. N. Ivakhnenko, M. M. Lomonos, S. M. Shumak,
A. V. Bachyshcha, A. A. Grachova**

At cultivation of a clover meadow on luvisol loamy sand soil it is established that its efficiency depends on weather conditions, a hay crop and doses of mineral fertilizers.

Productivity of green weight of a clover was formed at level of 5,05-6,93 t/ha, hay – at level of 0,97-1,23 t/ha. The maximum productivity of 693 t/ha, gathering of solid of 1,04 t/ha and gathering of fodder units of 1,46 t/ha are received at application $P_{70}K_{120}$ and entering $N_{30}P_{70}K_{120}$ under the predecessor a winter rye. The maximum recouperment of 1 kg o. s. fertilizers in green weight of 58 kg it is received at application of fertilizer system $P_{40}K_{80}$.

On the average for three years in a variant with optimum productivity the following specific carrying out with 1 t green weight: nitrogen 3,6 kg, phosphorus 1,0, potassium 6,5, calcium 1,7, magnesium of 0,8 kg and with 1 t hay: nitrogen 20,5 kg, phosphorus 5,6, potassium 36,7, calcium 9,4, magnesium of 4,7 kg.

Поступила 11 ноября 2011 г.

УДК 633.32:631.445.2

ПРОДУКТИВНОСТЬ И КОРМОВАЯ ЦЕННОСТЬ ЗЕЛеноЙ МАССЫ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

В. В. Лапа, М. М. Ломонос, О. Г. Кулеш, М. С. Лопух, О. Л. Ломонос
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее увеличение производства животноводческой конкурентоспособной продукции требует наращивания объемов высококачественных кормов. На-

ибо более острой является проблема сохранения от потерь и увеличения содержания белка в растительных кормах. Одним из путей решения данной проблемы является совершенствование структуры посевов в сторону увеличения удельного веса бобового компонента в полевом и луговом травосеянии [1].

Культурой больших потенциальных возможностей в этой связи является клевер луговой, который является ценной высокобелковой культурой. Его используют на зеленую подкормку и выпас скота, для заготовки сена, сенажа, силоса и кормов искусственной сушки (травяной муки, резки, гранул, брикетов). Кормовая масса клевера лугового не только содержит повышенное количество переваримого протеина, но и в 1,5-3 раза больше обеспечена незаменимыми аминокислотами, чем злаковые культуры. Корма из клевера отличаются высоким содержанием белка, кальция, фосфора, каротина и других питательных веществ. Также, в отличие от злаковых трав, клевер не накапливает нитраты в большом количестве, поэтому при скармливании не оказывает отрицательного влияния на здоровье животных.

Кроме того, возделывание клевера лугового оказывает большое влияние на поддержание и повышение плодородия почвы. Способствует значительному накоплению в почве гумуса, практически полностью предотвращает ветровую и водную эрозию почвы, а также вымывание нитратов и калия за пределы корнеобитаемого слоя. Клевер не только формирует урожай наземной массы за счет симбиотического азота, но и накапливает его большое количество в корневых и пожнивных остатках [2-6].

Клевер обладает высокой потенциальной продуктивностью. Главным условием получения высоких урожаев клевера в районах достаточного увлажнения является применение фосфорно-калийных удобрений. Изучение влияния различных доз фосфорных и калийных удобрений на продуктивность и качество зелёной массы клевера лугового являлось целью наших исследований.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния минеральных удобрений на продуктивность клевера лугового Витебчанин проводились в длительном стационарном полевом опыте в СПК «Щемыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лёссовидном суглинке. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта: pH_{KCl} – 5,8-6,0, содержание P_2O_5 – 400-420, K_2O – 300-320 мг/кг почвы, гумуса – 1,8-2,0 %, индекс агрохимической окультуренности – 0,92.

Клевер луговой первого года пользования возделывали в трёх полях на протяжении 2008-2010 гг. в зернотравяном севообороте со следующим чередованием культур: пелюшко-овсяная смесь на зеленую массу – озимое тритикале с подсевом клевера – клевер луговой 1 г. п. – яровая пшеница – яровой рапс.

Органические удобрения (40 т/га солоमистого навоза КРС) в севообороте вносили под пелюшко-овсяную смесь. Под покровную культуру (озимое тритикале) применяли полное минеральное удобрение согласно схеме опыта (табл. 1). Непосредственно под клевер ранней весной вносили фосфорные и калийные удобрения.

Анализ растительных образцов проводился в соответствии с общепринятыми методиками: после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пергидро-

ля определяли содержание азота и фосфора фотоколориметрическим методом, содержание калия - на пламенном фотометре. Содержание кальция и магния определялось на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Содержание сырого протеина определялось умножением содержания общего азота на коэффициент 6,25, содержание переваримого протеина определялось умножением сырого протеина на коэффициент 7. Расчёт кормопротеиновых единиц (КПЕ) проводился по формуле: $КПЕ = (КЕ + 12 П/п)/2$, где КЕ – содержание кормовых единиц в 1 кг корма (0,21); 12 – коэффициент, примерно отражающий соотношение количества кормовых единиц и переваримого протеина в зерне овса среднего качества; П/п – содержание в 1 кг корма переваримого протеина, кг [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность клевера в значительной мере зависит от погодных условий, в первую очередь от влагообеспеченности, а также от наличия в почве элементов питания.

По результатам исследований сбор зелёной массы клевера за два укоса составил 684-1153 ц/га (табл. 1). При этом агрометеорологические условия в значительной степени обусловили изменения продуктивности клевера по годам исследований. Теплая и влажная погода в первой половине вегетации 2008 г. благоприятно повлияла на продуктивность первого укоса клевера, в то время как недостаток влаги во второй половине вегетационного периода сдерживал нарастание зелёной массы клевера второго укоса. В результате этого продуктивность клевера за два укоса была самой низкой по сравнению с другими годами исследования и составила в зависимости от варианта 594-1040 ц/га.

В 2009 г. достаточная теплообеспеченность и интенсивные осадки во второй половине мая, июне и июле создали благоприятные условия для формирования урожая зелёной массы клевера, оказавшегося самым высоким по сравнению с другими годами (780-1290 ц/га).

Вегетационный период 2010 года также характеризовался высокой влагообеспеченностью мая, июня и июля, но аномально высокие температуры воздуха стали фактором, лимитирующим продуктивность зелёной массы клевера лугового, что привело к снижению урожайности данной культуры на 102-162 ц/га в сравнении с 2009 г.

Значительное влияние на продуктивность клевера оказало последствие органических удобрений, вносившихся в севообороте, что обеспечило получение дополнительных 155 ц/га зелёной массы по сравнению с контрольным вариантом.

Необходимо отметить, что уровень минерального питания покровной культуры также оказывает влияние на рост и развитие клевера в первый год жизни. С ростом урожайности покровной культуры существенно ухудшаются условия произрастания подсеваемых под покров многолетних трав, из-за чего всходы сильно изреживаются и продуктивность травостоев значительно снижается. Особенно негативно сказывается на состоянии и сохранности клевера чрезмерное азотное питание покровной культуры, вызывающее преждевременное её полегание, что ведёт к сильному затенению и гибели всходов клевера [2, 8].

Влияние удобрений на продуктивность клевера лугового Витебчанин на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, среднее за 2008-2010 гг.

| Вариант | | Зеленая масса, ц/га | | | | Прибавка от РК, ц/га | Сбор к. ед., ц/га |
|---|---|---------------------|---------|---------|------|----------------------|-------------------|
| | | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | Ø | | |
| Озимое тритикале | Клевер луговой | | | | | | |
| Без удобрений | Без удобрений | 594 | 780 | 678 | 684 | – | 143,6 |
| Последствие навоза, 40 т/га – фон 1 | | 766 | 958 | 793 | 839 | – | 176,2 |
| Фон 1 + N ₃₀ | Фон 1 | 739 | 941 | 763 | 814 | – | 171,0 |
| Фон 1 + N ₆₀ | Фон 1 | 728 | 915 | 740 | 794 | – | 166,8 |
| Фон 1 + N ₉₀ | Фон 1 | 685 | 849 | 734 | 756 | – | 158,8 |
| Фон 1 + N ₆₀ P ₃₀ | Фон 1 + P ₃₀ | 767 | 946 | 789 | 834 | – | 175,1 |
| Фон 1 + N ₆₀ K ₆₀ | Фон 1 + K ₇₀ | 776 | 974 | 794 | 848 | – | 178,0 |
| Посл. навоза + P ₃₀ K ₆₀ – фон 2 | Посл. навоза + P ₃₀ K ₇₀ – фон 2 | 912 | 1158 | 1039 | 1036 | 197 | 217,6 |
| Фон 2 + N ₃₀ | Фон 2 | 880 | 1136 | 931 | 982 | 143 | 206,3 |
| Фон 2 + N ₆₀ | Фон 2 | 843 | 1122 | 917 | 961 | 122 | 201,7 |
| Фон 2 + N ₉₀ | Фон 2 | 810 | 1052 | 871 | 911 | 72 | 191,3 |
| Посл. навоза + P ₆₀ K ₁₂₀ – фон 3 | Посл. навоза + P ₆₀ K ₁₄₀ – фон 3 | 1040 | 1290 | 1128 | 1153 | 314 | 242,0 |
| Фон 3 + N ₃₀ | Фон 3 | 967 | 1251 | 1049 | 1089 | 250 | 228,7 |
| Фон 3 + N ₆₀ | Фон 3 | 942 | 1201 | 1032 | 1058 | 219 | 222,2 |
| Фон 3 + N ₉₀ | Фон 3 | 910 | 1107 | 900 | 972 | 133 | 204,2 |
| Фон 3 + N ₆₀₊₃₀ | Фон 3 | 908 | 1121 | 992 | 1007 | 168 | 211,4 |
| Фон 3 + N ₉₀₊₃₀ | Фон 3 | 878 | 1039 | 908 | 942 | 103 | 197,8 |
| НСР _{0,05} | | 18 | 26 | 28 | 14 | | |

В проведённых исследованиях азотные удобрения, внесённые под озимое тритикале, повышали его урожайность и как следствие негативно сказались на продуктивности клевера лугового. Применение 30 кг/га азота под озимое тритикале на фоне последствие навоза повышало продуктивность этой культуры на 10 %, а на фоне P₆₀K₁₂₀ - на 7 %, при этом урожайность зелёной массы клевера снижалась на 3 % на фоне последствие навоза, и на 6 % на фоне P₆₀K₁₂₀. При внесении 90 кг/га азота продуктивность озимого тритикале увеличивалась, в соответствии с фоном, на 21 % и 15 %, в то время как урожайность клевера уменьшилась на 10 % и 16 % соответственно. Оптимальным по продуктивности тритикале (93,1 ц/га) вариантом является вариант с внесением N₉₀₊₃₀P₆₀K₁₂₀, в котором урожайность зелёной массы клевера лугового составила 942 ц/га, что на 211 ц/га ниже, чем в лучшем по продуктивности клевера варианте. Таким образом, получение высоких урожаев покровной культуры сопровождается снижением продуктивности подсеваемого под неё клевера.

Ранневесенняя подкормка клевера лугового фосфорными удобрениями (P₃₀) способствовала увеличению урожайности зелёной массы на 40 ц/га, калийными (K₇₀) - на 54 ц/га по сравнению с фоном 1. Совместное внесение P₃₀K₇₀ (фон 2) увеличивало урожайность клевера лугового до 1036 ц/га. Повышение доз фос-

2. Плодородие почв и применение удобрений

форных и калийных удобрений до $P_{60}K_{140}$ (фон 3) увеличивало урожай зелёной массы в сравнении с $P_{30}K_{70}$ на 117 ц/га.

Максимальная урожайность зелёной массы клевера лугового (1153 ц/га) получена в варианте, где на фоне последствия навоза вносились только фосфорные и калийные удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ под покровную культуру (озимое тритикале) и $P_{60}K_{140}$ под клевер.

Применение фосфорных и калийных удобрений имеет большое значение для повышения кормовой ценности клевера лугового. Для оценки качества кормов используют различные показатели, среди которых – сбор кормовых единиц, содержание и сбор сырого протеина, содержание переваримого и сырого протеина в 1 кг корма, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, кормопротеиновые единицы, содержание и соотношение основных элементов питания (табл. 2).

Сбор кормовых единиц в наших исследованиях находился в прямой зависимости от урожайности и изменялся в среднем за два года от 143,6 до 242,0 ц/га. Максимальный сбор кормовых единиц отмечен в варианте с наибольшей продуктивностью.

Таблица 2

Качество зелёной массы клевера лугового в зависимости от минеральных удобрений, среднее за 2008-2010 гг.

| Вариант | Сырой протеин, % в сух. в-ве | Сбор с/п, ц/га | С/п, г/кг корма | П/п, г/кг корма | Обеспеченность к. ед п/п, г | Сбор КПЕ, ц/га |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|----------------|
| Без удобрений | 15,3 | 15,7 | 23,1 | 16,1 | 76,9 | 137,6 |
| Посл. навоза, 40 т/га – фон 1 | 16,1 | 19,5 | 23,2 | 16,2 | 77,4 | 169,8 |
| Фон 1 | 16,3 | 18,3 | 22,5 | 15,8 | 75,2 | 162,3 |
| Фон 1 | 16,1 | 18,5 | 23,4 | 16,4 | 77,9 | 160,9 |
| Фон 1 | 16,4 | 17,2 | 22,8 | 16,0 | 76,0 | 151,7 |
| Фон 1 + P_{30} | 16,5 | 19,8 | 24,0 | 16,8 | 79,9 | 170,8 |
| Фон 1 + K_{70} | 16,4 | 19,0 | 22,5 | 15,8 | 75,1 | 168,9 |
| Посл. навоза+ $P_{30}K_{70}$ – фон 2 | 17,2 | 23,3 | 22,7 | 15,9 | 75,6 | 206,8 |
| Фон 2 | 16,5 | 22,1 | 22,6 | 15,8 | 75,2 | 196,0 |
| Фон 2 | 16,4 | 21,5 | 22,6 | 15,8 | 75,3 | 191,2 |
| Фон 2 | 16,5 | 20,2 | 22,3 | 15,6 | 74,4 | 180,4 |
| Посл. навоза+ $P_{60}K_{140}$ – фон 3 | 17,7 | 25,9 | 22,5 | 15,7 | 75,0 | 229,9 |
| Фон 3 | 17,0 | 24,4 | 22,4 | 15,7 | 74,8 | 216,7 |
| Фон 3 | 16,5 | 23,2 | 22,0 | 15,4 | 73,4 | 208,5 |
| Фон 3 | 16,9 | 21,4 | 22,3 | 15,6 | 74,2 | 192,1 |
| Фон 3 | 16,5 | 21,8 | 21,7 | 15,2 | 72,5 | 197,1 |
| Фон 3 | 16,6 | 21,1 | 22,5 | 15,8 | 75,0 | 187,5 |

Примечание: С/п – сырой протеин, п/п – переваримый протеин, КПЕ – кормопротеиновые единицы.

С повышением доз фосфорных и калийных удобрений содержание и сбор сырого протеина, сбор КПЕ несколько повышался, а содержание переваримого и сырого протеина в 1 кг корма и обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином имело тенденцию к снижению.

Важным показателем качества корма является содержание в нём сырого протеина. При недостатке протеина неэффективно используются другие питательные вещества, содержащиеся в кормах. При избыточном содержании протеина в кормах он также используется неэффективно. Оптимальным по зоотехническим требованиям считается содержание сырого протеина в корме 15-18 % в пересчёте на сухое вещество. В наших исследованиях оно составило 15,3-17,7 %, при сборе сырого протеина – 15,7-25,9 ц/га и сборе кормопротеиновых единиц – 137,6-229,9 ц/га. Минимальные значения этих показателей характерны для варианта без удобрений, максимальные – для варианта с внесением $P_{60}K_{120}$ под покровную культуру и $P_{60}K_{140}$ под клевер.

Содержание переваримого протеина в 1 кг корма находилось в пределах 15,2-16,8 г/кг корма, содержание сырого протеина в 1 кг корма – 21,7-24,0 г/кг корма, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином изменялась в пределах 72,5-79,9 г, при норме переваримого протеина на 1 к. ед., например, для молочных коров 95-110 г [9]. Самые низкие значения этих показателей отмечаются на всех трех фонах в вариантах, где под покровную культуру вносилось 90 кг д. в. азота удобрений. Наибольшие значения характерны для варианта с внесением фосфорных удобрений в дозе 30 кг/га д. в. на фоне последействия 40 т/га соломистого навоза КРС внесенного в занятом пару.

Важный практический интерес представляет содержание основных элементов питания в зелёной массе клевера. Проведённые химические анализы показали, что содержание азота, фосфора и кальция не зависело от системы удобрения, содержание магния несколько снижалось при повышении дозы удобрений, в то время как содержание калия значительно увеличивалось с увеличением дозы калийных удобрений. Также содержание калия в зелёной массе клевера в большей степени изменялось по укосам, чем содержание других основных элементов питания. В вариантах с внесением 70 кг/га д. в. калия содержание этого элемента в зелёной массе в первом укосе составило 4,54-4,81 %, во втором – 4,41-4,57 %. Более значительная разница в содержании калия по укосам была при внесении K_{140} . В первом укосе содержание этого элемента составило 4,93-5,22 %, а во втором укосе – 4,62-4,85 %. Следует отметить, что во всех вариантах, кроме варианта без удобрений, содержание калия превысило рекомендуемое значение – 3,5 % K_2O [10] (табл. 3).

Полноценность корма определяется также и содержанием азота, которое изменялось в пределах от 2,45 % в контрольном варианте до 2,84 % в варианте с наибольшей урожайностью зелёной массы клевера, в целом содержание азота в зелёной массе клевера первого укоса (2,51-2,92 %) было несколько выше, чем во втором укосе (2,42-2,93 %).

В вариантах, где вносились фосфорные удобрения, не наблюдалось различий в содержании фосфора по укосам, в то время как в вариантах, где фосфор не вносился, его содержание во втором укосе несколько превышало содержание в первом укосе. Содержание P_2O_5 в опыте колебалось в незначительных пределах 0,70-0,77 %, согласно зоотехническим требованиям оно должно составлять не менее 0,45 %.

Влияние удобрений на содержание основных элементов питания в зелёной массе клевера лугового Витебчанин на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, % в сухом веществе, среднее за 2008-2010 гг.

| Вариант | Средневзвешенное содержание элементов питания в зелёной массе клевера, % в сухом веществе | | | | | | |
|---|---|-------------------------------|------------------|------|------|-------------|------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | K/ Ca+Mg | P/Ca |
| Без удобрений | 2,45 | 0,70 | 3,24 | 1,28 | 0,66 | 0,87 | 0,34 |
| Посл. навоза, 40 т/га – фон 1 | 2,58 | 0,72 | 3,57 | 1,31 | 0,63 | 0,92 | 0,34 |
| Фон 1 | 2,60 | 0,73 | 3,96 | 1,28 | 0,58 | 1,13 | 0,36 |
| Фон 1 | 2,58 | 0,74 | 3,96 | 1,27 | 0,58 | 1,13 | 0,36 |
| Фон 1 | 2,62 | 0,73 | 3,91 | 1,33 | 0,57 | 1,09 | 0,34 |
| Фон 1 + P ₃₀ | 2,65 | 0,71 | 3,76 | 1,30 | 0,65 | 1,02 | 0,34 |
| Фон 1 + K ₇₀ | 2,50 | 0,70 | 4,44 | 1,13 | 0,52 | 1,41 | 0,38 |
| Посл. навоза+P ₃₀ K ₇₀ – фон 2 | 2,75 | 0,74 | 4,60 | 1,23 | 0,59 | 1,38 | 0,38 |
| Фон 2 | 2,64 | 0,73 | 4,63 | 1,19 | 0,57 | 1,43 | 0,38 |
| Фон 2 | 2,63 | 0,73 | 4,63 | 1,26 | 0,57 | 1,37 | 0,36 |
| Фон 2 | 2,64 | 0,71 | 4,50 | 1,31 | 0,56 | 1,27 | 0,34 |
| Посл. навоза+P ₆₀ K ₁₄₀ – фон 3 | 2,84 | 0,77 | 5,00 | 1,23 | 0,55 | 1,49 | 0,39 |
| Фон 3 | 2,72 | 0,76 | 4,87 | 1,25 | 0,57 | 1,39 | 0,38 |
| Фон 3 | 2,64 | 0,77 | 4,78 | 1,24 | 0,54 | 1,41 | 0,39 |
| Фон 3 | 2,70 | 0,76 | 4,93 | 1,25 | 0,54 | 1,44 | 0,38 |
| Фон 3 | 2,63 | 0,75 | 4,82 | 1,27 | 0,54 | 1,39 | 0,37 |
| Фон 3 | 2,66 | 0,74 | 4,87 | 1,26 | 0,55 | 1,43 | 0,37 |
| НСР _{0,05} | | | 0,28 | | 0,04 | 0,13 | |

Важным показателем качества корма является содержание в нем кальция, которое в сухой массе корма должно составлять около 1 % [2]. В проведённых исследованиях оно варьирует в пределах 1,19-1,33 %.

Наряду с общим содержанием элементов питания в кормах, не менее значимым является соотношение в них калия к кальцию и магнию, фосфора к кальцию. В исследованиях соотношение K/Ca + Mg изменялось от 0,87 в варианте без удобрений до 1,49 в варианте с внесением P₆₀K₁₄₀. Для нормального качества корма соотношение K/Ca + Mg не должно превышать 2,2 [3]. При значительном преобладании фосфора над кальцием происходит «выщелачивание» из костной ткани животных кальция. Соотношение P/Ca в нашем опыте составило 0,34-0,39.

На основании данных полевого опыта был рассчитан общий и удельный вынос основных элементов питания клевером луговым.

Расчёты показали, что клевер выносит с урожаем довольно большое количество калия и азота, меньше кальция, фосфора и магния (табл. 4).

За годы проведения исследований общий вынос калия клевером составил 328,4-618,3 кг/га, азота – 250,8-354,7, кальция – 125,7-154,1, фосфора – 71,6-95,4, магния – 57,9-68,5 кг/га. Наименьший показатель общего выноса азота, фосфора и калия характерен для контрольного варианта и увеличивается при

внесении удобрений, но если общий вынос азота и фосфора увеличивается на 41 и 33 % соответственно в основном за счет повышения продуктивности, то общий вынос калия увеличился на 88 % не только за счёт повышения урожайности клевера, но и за счёт увеличения содержания калия в зелёной массе. В оптимальном по продуктивности варианте общий вынос калия клевером луговым составил 618,3 кг/га, азота – 354,7, кальция – 154,1, фосфора – 95,4, и магния – 68,3 кг/га.

Таблица 4

Влияние удобрений на вынос основных элементов питания клевером луговым Витебчанин на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, среднее за 2008-2010 гг.

| Вариант | Общий вынос, кг/га | | | | | Удельный вынос, кг/т | | | | |
|--|--------------------|-------------------------------|------------------|-------|------|----------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
| Без удобрений | 250,8 | 71,6 | 328,4 | 131,4 | 66,5 | 3,7 | 1,1 | 4,9 | 1,9 | 1,0 |
| Посл. навоза, 40т/га фон 1 | 301,7 | 83,8 | 414,1 | 153,5 | 73,0 | 3,6 | 1,0 | 5,0 | 1,8 | 0,9 |
| Фон 1 | 283,7 | 80,2 | 431,7 | 139,5 | 62,7 | 3,5 | 1,0 | 5,4 | 1,7 | 0,8 |
| Фон 1 | 286,4 | 82,6 | 438,9 | 140,6 | 63,9 | 3,6 | 1,0 | 5,6 | 1,8 | 0,8 |
| Фон 1 | 272,6 | 75,8 | 405,4 | 138,9 | 59,3 | 3,6 | 1,0 | 5,4 | 1,8 | 0,8 |
| Фон 1 + P ₃₀ | 299,4 | 81,7 | 429,9 | 146,1 | 73,0 | 3,6 | 1,0 | 5,2 | 1,8 | 0,9 |
| Фон 1 + K ₇₀ | 278,0 | 78,2 | 491,7 | 125,7 | 57,9 | 3,3 | 0,9 | 5,8 | 1,5 | 0,7 |
| Посл. навоза + P ₃₀ K ₇₀ фон 2 | 332,8 | 90,7 | 557,2 | 148,7 | 71,0 | 3,2 | 0,9 | 5,4 | 1,4 | 0,7 |
| Фон 2 | 318,6 | 87,6 | 556,0 | 143,3 | 68,4 | 3,3 | 0,9 | 5,7 | 1,5 | 0,7 |
| Фон 2 | 304,8 | 84,8 | 536,4 | 145,9 | 65,4 | 3,2 | 0,9 | 5,6 | 1,5 | 0,7 |
| Фон 2 | 298,3 | 80,3 | 508,1 | 148,2 | 63,1 | 3,3 | 0,9 | 5,6 | 1,6 | 0,7 |
| Посл. навоза + P ₆₀ K ₁₄₀ фон 3 | 354,7 | 95,4 | 618,3 | 154,1 | 68,3 | 3,1 | 0,8 | 5,4 | 1,3 | 0,6 |
| Фон 3 | 331,0 | 93,2 | 589,0 | 152,6 | 68,5 | 3,0 | 0,9 | 5,4 | 1,4 | 0,6 |
| Фон 3 | 319,1 | 94,0 | 576,3 | 150,2 | 64,5 | 3,0 | 0,9 | 5,5 | 1,4 | 0,6 |
| Фон 3 | 300,6 | 84,8 | 547,2 | 139,4 | 60,2 | 3,1 | 0,9 | 5,7 | 1,4 | 0,6 |
| Фон 3 | 310,3 | 88,3 | 567,6 | 149,0 | 63,2 | 3,1 | 0,9 | 5,7 | 1,5 | 0,6 |
| Фон 3 | 304,5 | 85,2 | 554,2 | 144,9 | 63,0 | 3,2 | 0,9 | 5,9 | 1,5 | 0,7 |
| НСР _{0,05} | 18,5 | 5,5 | 33,1 | 9,9 | 5,0 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,1 |

Удельный вынос за годы проведения исследований составил: калия – 4,9-5,9 кг/т, азота – 3,0-3,7, кальция – 1,3-1,9, фосфора – 0,8-1,1 и магния – 0,6-1,0 кг/т.

Применение удобрений приводило к снижению удельного выноса азота, фосфора, кальция и магния, и только затраты калия на создание 1 т зелёной массы клевера лугового повышались. В оптимальном по урожайности варианте, удельный вынос калия составил 5,4 кг/т, азота – 3,1, кальция – 1,3, фосфора – 0,8, магния – 0,6 кг/т. Таким образом, удельный вынос калия клевером луговым в нашем опыте выше нормативного (4,4 кг/т), принятого в республике, по всем вариантам опыта. Удельный вынос фосфора находился на уровне нормативного (1,0 кг/т) и только в контрольном варианте превышал его на 0,1 кг/т, удельный вынос азота ниже нормативного на 0,6-1,3, кальция - на 1,1-1,7, магния - на 0,5-0,9 кг/т.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании клевера лугового Витебчанин на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве внесение $P_{60}K_{120}$ под покровную культуру (озимое тритикале) и внесение $P_{60}K_{140}$ непосредственно под клевер обеспечило получение 242 ц/га к. ед. при урожайности зелёной массы 1153 ц/га. Прибавка от внесения РК составила 314 ц/га. Внесение азотных удобрений под покровную культуру достоверно снижало урожайность зелёной массы клевера лугового.

2. Применение удобрений неоднозначно влияло на показатели качества, определяющие кормовую ценность зелёной массы клевера. С повышением доз фосфорных и калийных удобрений содержание и сбор сырого протеина, сбор КПЕ несколько повышался, в то время как содержание переваримого и сырого протеина в 1 кг корма, обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином имело тенденцию к снижению. В оптимальном по урожайности варианте содержание сырого протеина составило 17,7 %, сбор сырого протеина - 25,9 ц/га, содержание переваримого и сырого протеина в 1 кг корма - 15,7 и 22,5 г соответственно, сбор КПЕ составил 229,9 ц/га.

3. Общий вынос основных элементов питания находился в прямой зависимости от продуктивности клевера лугового. В оптимальном по продуктивности варианте общий вынос калия клевером луговым составил 618,3 кг/га, азота - 354,7, кальция - 154,1, фосфора - 95,4, и магния - 68,3 кг/га. Удельный вынос основных элементов питания кроме калия с 1 тонной продукции с внесением удобрений и ростом продуктивности снижался, и составил в оптимальном по продуктивности варианте: калия - 4,9-5,9, азота - 3,0-3,7 кг, кальция - 1,3-1,9, фосфора - 0,8-1,1 и магния - 0,6-1,0 кг/т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резервы кормового поля / Шлапунов В. Н. [и др.] // Кормопроизводство: технологии, экономика, почвосбережение: сборник мат. Междунар. науч. — практ. конф., г. Жодино, 25-26 июня 2009 г. / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. — Минск: ИВЦ Минфина, 2009. — С. 3-6.
2. Кидин, В. В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / В. В. Кидин. — М.: изд-во РГАУ, МСХА им. Тимирязева, 2009. — 412 с.
3. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. — Минск, 2006. — 120 с.
4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. — Минск: Белорусская наука, 2007. — 390 с.
5. Лукашевич, Н. П. Технологии производства и заготовки кормов: практ. руководство / Н. П. Лукашевич, Н. Н. Зенькова. — Витебск: ВГАВМ, 2009. — 231 с.
6. Технология растениеводства / И. П. Фирсов, А. М. Соловьёв, М. Ф. Трифонова. — М.: КолосС, 2006. — 438 с.
7. Вильдфлуш, И. Р. Практикум по агрохимии / И. Р. Вильдфлуш. — Мн.: Ураджай, 1998. — 270 с.
8. Казанцев, В. П. Луговое кормопроизводство / В. П. Казанцев. — Новосибирск, 2002. — 184 с.

9. Кормопроизводство: учеб. для студентов ВУЗов по агрономическим специальностям / А. А. Шелюто [и др]; под ред. А. А. Шелюто. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – 472 с.

10. Харьков, Г. Д. Клевер / Г. Д. Харьков. – М.: Агропромиздат, 1989. – 49 с.

PRODUCTIVITY AND FODDER VALUE OF GREEN WEIGHT OF A CLOVER MEADOW ON PODZOLUVISOL LOAM SOIL

V. V. Lapa, M. M. Lomonos, O. H. Kulesh, M. S. Lopuh, O. L. Lomonos

Summary

Results of researches on studying of influence of various doses of phosphoric and potash fertilizers on productivity and fodder value of a clover meadow are resulted at it crops under winter triticale. It is established that entering of phosphoric and potash fertilizers ($P_{60}K_{120}$) in the autumn under preseeding cultivation against after effect 40 t/ha of manure under winter triticale and spring top dressing of clover $P_{60}K_{140}$ was the most effective system of fertilizer of a clover meadow, the ensured 11,53 t/ha of green weight with the maintenance of crude fiber of 17,7 % and its gathering of 0,259 t/ha.

Поступила 3 октября 2011 г.

УДК 631.8.022.3:631.445.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БОРНЫХ УДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ БОРОМ

М. В. Рак, Е. Н. Барашкова

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственное землепользование приводит к значительным изменениям в микроэлементном составе почв, к их обеднению отдельными микроэлементами или доступными формами, нарушению оптимальных для растений соотношений элементов питания. При возделывании продовольственных и кормовых культур необходимо оптимизировать питание растений с учетом обеспеченности почв доступными формами микроэлементов, почвенно-агрохимических факторов, биологических особенностей культур [1].

Сахарная свекла, лен, картофель, рапс занимают значительное место в сельскохозяйственном производстве республики, а дальнейшее повышение их урожая и качества – одна из основных задач сельскохозяйственной науки. Все эти культуры объединяет высокая чувствительность к недостатку в питательной среде бора [2-6].

Обеспеченность растений бором определяется доступностью его соединений из почвы. При этом имеют значение не столько общие (валовые) его запасы в поч-

2. Плодородие почв и применение удобрений

ве, сколько содержание подвижной, доступной для растений водорастворимой формы. Поступление и передвижение бора в растениях в значительной степени зависит от концентрации его в почве. Критический предел дефицита подвижного бора в почве – 0,1-0,3 мг/кг [7, 8].

В соответствии с существующей в республике градацией содержания водорастворимого бора в минеральной почве выделяют 4 группы обеспеченности: низкая – менее 0,30 мг/кг, средняя – 0,31-0,70, высокая – 0,71-1,0, избыточная – более 1,0 мг/кг. Анализ результатов последних туров крупномасштабного обследования показал существенное изменение во времени содержание подвижной формы бора в почвах Беларуси. Среднее содержание водорастворимого бора на пашне составляет 0,62 мг/кг, что близко к оптимуму. Доля пахотных почв 1 и 2 групп обеспеченности, где необходимо внесение микроудобрений в виде некорневой подкормки, высокая и составляет по бору 69,4 % [9, 10].

В последние годы с целью повышения эффективности микроудобрений важное теоретическое и практическое значение приобретают исследования органо-минеральных соединений бора, которые более эффективны и технологичны в применении.

Одной из причин часто наблюдаемых заболеваний растений, связанных со слабым или избыточным поступлением бора в растения, является недостаточная обоснованность оптимальных концентраций элемента в почве и растениях, и, как следствие, неадекватный уровень удобрения. Для оптимизации питания растений бором важно определить параметры концентрации бора в почве и растениях с целью разработки эффективных приемов, обеспечивающих повышение урожайности сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции.

Цель исследований – изучить приемы рационального применения борного удобрения в некорневые подкормки сельскохозяйственных культур в зависимости от уровней обеспеченности им дерново-подзолистой супесчаной почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование эффективности некорневых подкормок сельскохозяйственных культур борными удобрениями при различной обеспеченности почвы бором проведены в 2006-2010 гг. в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: рН в КCl – 5,7-6,4, содержание гумуса – 2,4-2,9 %, содержание P_2O_5 (0,2 М HCl) – 205-280, K_2O (0,2 М HCl) 255-312 мг/кг почвы. Исходное содержание подвижного бора в пахотном слое 0,28-0,35 мг/кг почвы.

В 2006 г. и 2008 г. исследования проводились со льном масличным Сонечны, в 2007-2008 гг. – с сахарной свеклой Араксия, в 2008-2009 гг. – с ячменем Сильфид, в 2009-2010 гг. – с озимым рапсом Добрадей и яровым рапсом Янтарь, с картофелем Крыница.

Изучение действия некорневых подкормок борными удобрениями проводили на фоне минеральных удобрений, дозы которых рассчитывали на планируемую урожайность культур в соответствии с технологиями их возделывания.

Схема полевых опытов включала 6 вариантов некорневых подкормок растений различными дозами и видами борных удобрений и были развернуты на пяти уровнях насыщения супесчаной почвы водорастворимым бором (0,3-низкий; 0,6-0,7-средний; 0,9-1,0-высокий; 1,2-1,3-избыточный и 1,5-1,7-избыточный мг/кг). Уровни насыщения пахотного слоя почвы бором были созданы внесением борной кислоты в виде водного раствора.

Некорневые подкормки льна масличного борными удобрениями проводили в фазу всходов при высоте растений 4-5 см, картофеля – в фазу начало бутонизации, ячменя – в стадии первого узла в дозах 0,05, 0,10 и 0,15 кг/га д. в. Некорневые подкормки сахарной свеклы борными удобрениями проводили в 2 срока – в фазу 10-12 листьев и через месяц после первой подкормки, озимого рапса в – фазу бутонизации в дозах 0,1, 0,2 и 0,3 кг/га д. в. В качестве борного удобрения использовали борную кислоту с содержанием 17 % бора, а также микроудобрение с биостимулятором МикроСтим-Бор, содержащее 150 г/л бора в органо-минеральной форме.

Агротехника возделывания культур в полевых опытах соответствовала общепринятой в Республике Беларусь с включением интегрированной системы мер защиты растений от сорняков, болезней и вредителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дефицит бора в почве может быть лимитирующим фактором снижения урожайности и качества культур, особенно чувствительных к его недостатку в питательной среде. Потребностям растений наиболее соответствуют подвижные соединения бора в почве. В наших исследованиях при возделывании сельскохозяйственных культур исходное содержание подвижного бора в пахотном слое почвы на 1 уровне составляло 0,26-0,38 мг/кг (табл. 1). После насыщения почвы бором, концентрация элемента в пахотном горизонте почвы повышалась по уровням насыщения от 0,55-0,70 мг/кг (2 уровень) до 1,52-1,64 мг/кг (5 уровень). Следует отметить, что количественное содержание микроэлемента при внесении в почву имеет длительное последствие, в результате которого растения обеспечиваются питанием на протяжении всего периода вегетации.

В результате исследований определено влияние уровней содержания бора в почве и действие в некорневую подкормку борных удобрений на показатели продуктивности сельскохозяйственных культур.

В исследованиях было отмечено значительное влияние концентрации бора в почве на показатели урожайности и качества культур. В соответствии с экспериментальными данными повышение обеспеченности почвы бором до 3 уровня повышало продуктивность культур. Эффективность некорневой подкормки определялась уровнем содержания бора в почве. При избыточном содержании бора в почве некорневые подкормки борными удобрениями не эффективны и не рассматриваются в ниже приведенных таблицах.

Лен масличный. Результаты исследований показали, что при возделывании льна масличного на дерново-подзолистой супесчаной почве с увеличением содержания водорастворимого бора с 0,30 до 0,95 мг/кг отмечается тенденция увеличения урожайности семян с 23,5 до 26,3 ц/га (табл. 2).

Таблица 1

Динамика содержания подвижного бора по уровням насыщения и горизонтам профиля дерново-подзолистой супесчаной почвы при возделывании сельскохозяйственных культур, мг/кг

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Генетический горизонт | Лен масличный 2006, 2008 гг. | Сахарная свекла 2007-2008 гг. | Ячмень 2008-2009 гг. | Рапс 2009-2010 гг. | Картофель 2009-2010 гг. |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|
| Низкое (0,26-0,30) | Апах | 0,30 | 0,33 | 0,35 | 0,26 | 0,38 |
| | A ₁ A ₂ | 0,22 | 0,27 | 0,27 | 0,18 | 0,25 |
| | A ₂ B ₁ | 0,18 | 0,21 | 0,18 | 0,17 | 0,17 |
| | B ₂ D | 0,15 | 0,28 | 0,27 | 0,10 | 0,12 |
| Среднее (0,55-0,70) | Апах | 0,63 | 0,55 | 0,70 | 0,59 | 0,61 |
| | A ₁ A ₂ | 0,43 | 0,49 | 0,40 | 0,30 | 0,35 |
| | A ₂ B ₁ | 0,39 | 0,38 | 0,24 | 0,26 | 0,26 |
| | B ₂ D | 0,42 | 0,40 | 0,30 | 0,15 | 0,16 |
| Высокое (0,89-1,00) | Апах | 0,95 | 0,90 | 1,00 | 0,89 | 0,89 |
| | A ₁ A ₂ | 0,45 | 0,70 | 0,50 | 0,60 | 0,51 |
| | A ₂ B ₁ | 0,50 | 0,41 | 0,37 | 0,31 | 0,34 |
| | B ₂ D | 0,44 | 0,50 | 0,41 | 0,20 | 0,25 |
| Избыточное (1,20-1,31) | Апах | 1,31 | 1,27 | 1,25 | 1,26 | 1,20 |
| | A ₁ A ₂ | 0,41 | 0,95 | 0,65 | 0,70 | 0,66 |
| | A ₂ B ₁ | 0,53 | 0,49 | 0,46 | 0,46 | 0,41 |
| | B ₂ D | 0,38 | 0,50 | 0,49 | 0,32 | 0,36 |
| Избыточное (1,52-1,64) | Апах | 1,64 | 1,52 | 1,52 | 1,60 | 1,58 |
| | A ₁ A ₂ | 0,47 | 1,05 | 0,70 | 0,80 | 0,80 |
| | A ₂ B ₁ | 0,48 | 0,60 | 0,48 | 0,54 | 0,55 |
| | B ₂ D | 0,34 | 0,48 | 0,40 | 0,42 | 0,46 |

Установлено, что наиболее целесообразно проводить некорневые подкормки культуры на почвах низко- и среднеобеспеченной бором. По мере повышения концентрации подвижного бора в почве потребность льна в боре снижается, о чем свидетельствуют параметры прибавок урожайности семян от некорневой подкормки.

При низком содержании в пахотном горизонте водорастворимого бора существенные прибавки урожайности семян получены от обеих форм борного удобрения в диапазоне всех исследуемых доз элемента, однако наиболее эффективно было применение борной кислоты в дозе 0,15 кг/га д. в. и МикроСтим-Бор в дозе 0,10 кг/га д. в., что обеспечило прибавку урожайности 5,5 и 5,0 ц/га.

При возделывании льна масличного на супесчаной почве, с содержанием бора на уровне 0,63 мг/кг, целесообразно применение борной кислоты в дозе 0,1 кг/га д. в. и удобрения МикроСтим-Бор в дозе 0,05 кг/га д. в., что обеспечило прибавку урожайности 3,0 и 5,0 ц/га. При повышении уровня содержания бора в почве до 0,95 мг/кг, достоверная прибавка урожайности семян получена только при внесении микроудобрения МикроСтим-Бор в дозе 0,05 кг/га д. в. – 2,3 ц/га.

Влияние борных удобрений на урожайность и масличность льносемян при различном уровне обеспеченности почвы бором (среднее за 2006 и 2008 гг.)

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Варианты | Урожайность, ц/га | Прибавка, ц/га | Масличность, % | Сбор масла, ц/га |
|---------------------------------------|---|-------------------|----------------|----------------|------------------|
| Низкое (0,30) | 1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ Zn _{0,2} – фон | 23,5 | - | 34,9 | 8,2 |
| | 2. Фон + B _{0,05} | 26,0 | 2,5 | 34,9 | 9,1 |
| | 3. Фон + B _{0,10} | 27,6 | 4,1 | 35,5 | 9,8 |
| | 4. Фон + B _{0,15} | 29,0 | 5,5 | 35,5 | 10,3 |
| | 5. Фон + B _{0,05} | 27,7 | 4,2 | 35,6 | 9,9 |
| | 6. Фон + B _{0,10} | 28,5 | 5,0 | 36,6 | 10,4 |
| | 7. Фон + B _{0,15} | 27,8 | 4,3 | 34,4 | 9,6 |
| Среднее (0,63) | 1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ Zn _{0,2} – фон | 25,4 | - | 35,2 | 8,9 |
| | 2. Фон + B _{0,05} | 26,5 | 1,1 | 32,9 | 8,7 |
| | 3. Фон + B _{0,10} | 28,4 | 3,0 | 32,6 | 9,2 |
| | 4. Фон + B _{0,15} | 28,2 | 2,8 | 35,1 | 9,9 |
| | 5. Фон + B _{0,05} | 30,4 | 5,0 | 35,1 | 10,6 |
| | 6. Фон + B _{0,10} | 28,5 | 3,1 | 36,2 | 10,3 |
| | 7. Фон + B _{0,15} | 24,2 | - | 36,2 | 8,7 |
| Высокое (0,95) | 1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ Zn _{0,2} – фон | 26,3 | - | 38,3 | 10,1 |
| | 2. Фон + B _{0,05} | 25,3 | - | 36,7 | 9,3 |
| | 3. Фон + B _{0,10} | 26,9 | 0,6 | 37,5 | 10,1 |
| | 4. Фон + B _{0,15} | 25,2 | - | 37,4 | 9,4 |
| | 5. Фон + B _{0,05} | 28,6 | 2,3 | 39,7 | 11,3 |
| | 6. Фон + B _{0,10} | 26,9 | 0,6 | 37,4 | 10,1 |
| | 7. Фон + B _{0,15} | 25,3 | - | 37,5 | 9,5 |
| НСР ₀₅ вариантов/уровней | | 2,1/1,6 | | 0,95 | |

Повышение содержания водорастворимого бора в почве и применение борных удобрений в некорневую подкормку оказали положительное влияние на масличность семян льна. Увеличение содержания бора в дерново-подзолистой супесчаной почве с 0,30 до 0,95 мг/кг способствовало увеличению масличности семян с 34,9 до 38,3 % и сбора масла с 8,2 до 10,1 ц/га. Более высокая эффективность от применения в некорневую подкормку борных удобрений на показатель масличности была получена при низком и среднем содержании бора в почве. Максимальное повышение содержания масла в семенах льна (на 1,7 %) и прибавка сбора масла (2,2 ц/га) отмечается от некорневой подкормки удобрением МикроСтим-Бор в дозе 0,1 кг/га д. в при низком содержании бора в почве.

Сахарная свекла. Результаты исследований свидетельствуют о высокой чувствительности сахарной свеклы к уровню содержания бора в почве и некорневой подкормке борными удобрениями (табл. 3). Установлено, что с повышением содержания бора в почве с 0,33 до 0,90 мг/кг урожайность корнеплодов увеличивается с 636 до 713 ц/га.

Таблица 3

Влияние борных удобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы при различной обеспеченности почвы бором (среднее за 2007-2008 гг.)

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Варианты | Урожайность, ц/га | Прибавка, ц/га | Выход сахара, ц/га |
|---------------------------------------|--|-------------------|----------------|--------------------|
| Низкое (0,33) | 1. Навоз 50 т/га + N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₈₀ – фон | 636 | - | 84,5 |
| | 2. Фон + В _{0,1+0,1} | Борная кислота | 677 | 41 |
| | 3. Фон + В _{0,2+0,2} | | 706 | 70 |
| | 4. Фон + В _{0,3+0,3} | | 718 | 82 |
| | 5. Фон + В _{0,1+0,1} | Микро-Стим-Бор | 686 | 50 |
| | 6. Фон + В _{0,2+0,2} | | 738 | 102 |
| | 7. Фон + В _{0,3+0,3} | | 699 | 63 |
| Среднее (0,55) | 1. Навоз 50 т/га + N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₈₀ – фон | 664 | - | 89,0 |
| | 2. Фон + В _{0,1+0,1} | Борная кислота | 706 | 42 |
| | 3. Фон + В _{0,2+0,2} | | 704 | 40 |
| | 4. Фон + В _{0,3+0,3} | | 727 | 63 |
| | 5. Фон + В _{0,1+0,1} | Микро-Стим-Бор | 803 | 139 |
| | 6. Фон + В _{0,2+0,2} | | 778 | 114 |
| | 7. Фон + В _{0,3+0,3} | | 678 | - |
| Высокое (0,90) | 1. Навоз 50 т/га + N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₈₀ – фон | 713 | - | 97,4 |
| | 2. Фон + В _{0,1+0,1} | Борная кислота | 779 | 66 |
| | 3. Фон + В _{0,2+0,2} | | 792 | 79 |
| | 4. Фон + В _{0,3+0,3} | | 769 | 56 |
| | 5. Фон + В _{0,1+0,1} | Микро-Стим-Бор | 855 | 142 |
| | 6. Фон + В _{0,2+0,2} | | 834 | 121 |
| | 7. Фон + В _{0,3+0,3} | | 779 | 66 |
| НСР ₀₅ вариантов/уровней | | 27,0/34,0 | | 0,97 |

Положительный эффект от некорневых подкормок сахарной свеклы борными удобрениями отмечается как при низком уровне, так и при высоком уровне содержания бора в почве, с преимуществом его внесения в органо-минеральной форме, что свидетельствует о высокой потребности в боре данной культуры. Согласно полученным данным, в технологии возделывания сахарной свеклы на дерново-подзолистой супесчаной почве низкообеспеченной бором, наиболее эффективно двукратное внесение в некорневую подкормку борной кислоты и микроудобрения МикроСтим-Бор в дозе 0,2 кг/га д. в., что обеспечило прибавку урожайности корнеплодов 70 и 102 ц/га, выхода сахара – 11,9 и 20,5 ц/га соответственно.

При среднем уровне содержания бора в почве (0,55 мг/кг), максимальная прибавка урожайности корнеплодов получена при двукратном внесении удобрения МикроСтим-Бор в дозе 0,1 кг/га д. в. – 139 ц/га, выход сахара составил – 106,4 ц/га. Внесение борной кислоты обеспечило прибавку урожайности 42,0-63,0 ц/га, при этом максимальный выход сахара был получен при двукратном внесении в дозе

0,1 кг/га – 96,0 ц/га. При уровне содержания бора в почве 0,90 мг/кг эффективно двукратное внесение микроудобрения МикроСтим-Бор в дозе 0,1 кг/га д. в.

Максимальный выход сахара, величина которого зависит от общей продуктивности корнеплодов, их сахаристости и технологических свойств, отмечался при внесении удобрения МикроСтим-Бор на всех уровнях обеспеченности почвы бором.

Ячмень. Результаты исследований с пивоваренным ячменем показывают, что повышение содержания бора в почве не оказывает существенного влияния на урожайность и содержание белка в зерне. Повышение содержания подвижного бора в почве в диапазоне от 0,35 до 1,00 мг/кг почвы сопровождалось тенденцией увеличения урожайности зерна ячменя с 68,6 до 70,3 ц/га (табл. 4).

Таблица 4

Влияние борных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя при различной обеспеченности почвы бором (среднее за 2008-2009 гг.)

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Варианты | Урожайность зерна, ц/га | Прибавка, ц/га | Белок, % | |
|---------------------------------------|---|-------------------------|----------------|----------|------|
| Низкое (0,35) | 1. N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ – фон | 68,6 | - | 8,7 | |
| | 2. Фон + V _{0,05} | Борная кислота | 68,8 | 0,2 | |
| | 3. Фон + V _{0,10} | | 68,8 | 0,2 | |
| | 4. Фон + V _{0,15} | | 67,9 | - | |
| | 5. Фон + V _{0,05} | Микро-Стим-Бор | 75,4 | 6,8 | 10,1 |
| | 6. Фон + V _{0,10} | | 72,7 | 4,1 | 10,1 |
| | 7. Фон + V _{0,15} | | 70,2 | 1,6 | 10,1 |
| Среднее (0,70) | 1. N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ – фон | 69,2 | - | 10,5 | |
| | 2. Фон + V _{0,05} | Борная кислота | 68,6 | - | 10,5 |
| | 3. Фон + V _{0,10} | | 71,8 | 2,6 | 10,1 |
| | 4. Фон + V _{0,15} | | 68,9 | - | 10,5 |
| | 5. Фон + V _{0,05} | Микро-Стим-Бор | 74,6 | 5,4 | 10,9 |
| | 6. Фон + V _{0,10} | | 72,6 | 3,4 | 10,9 |
| | 7. Фон + V _{0,15} | | 70,9 | 1,7 | 10,9 |
| Высокое (1,00) | 1. N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ – фон | 70,3 | - | 10,5 | |
| | 2. Фон + V _{0,05} | Борная кислота | 71,7 | 1,4 | 10,9 |
| | 3. Фон + V _{0,10} | | 74,3 | 4,0 | 10,9 |
| | 4. Фон + V _{0,15} | | 73,2 | 2,9 | 10,9 |
| | 5. Фон + V _{0,05} | Микро-Стим-Бор | 75,8 | 5,5 | 10,9 |
| | 6. Фон + V _{0,10} | | 74,4 | 4,1 | 10,9 |
| | 7. Фон + V _{0,15} | | 70,6 | 0,3 | 10,5 |
| НСР ₀₅ вариантов/уровней | | 4,7/2,2 | | | |

Применение некорневой подкормки борными удобрениями на посевах ячменя оказывало положительное влияние на урожайность зерна. Повышение содержания белка в зерне ячменя с 8,7 до 10,5 % отмечалось при увеличении концентрации бора в почве с 0,35 до 0,70 мг/кг. Некорневая подкормка борными удобрениями повышала содержание белка в зерне только при низком уровне обеспеченности почвы бором.

2. Плодородие почв и применение удобрений

Озимый рапс. Анализ результатов исследований, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, позволяет сделать вывод о существенном положительном влиянии бора на урожайность семян озимого рапса (табл. 5). Повышение обеспеченности почвы бором с 0,26 до 0,89 мг/кг способствовало увеличению урожайности семян с 44,2 до 55,0 ц/га, сбора масла с 15,6 до 18,2 ц/га.

Эффективность применения борных удобрений в некорневую подкормку зависела от уровня содержания бора в почве. Высокая эффективность при проведении некорневой подкормки в фазу бутонизации растений озимого рапса борными удобрениями получена при низком и среднем уровне содержания бора в почве в дозе 0,1 кг/га д. в. Так, при низком уровне содержания бора в почве внесение удобрений МикроСтим-Бор в дозе 0,1 кг/га д. в. обеспечивало прибавку урожайности 11,3 ц/га, борной кислоты – 9,7 ц/га. При этом сбор масла составил 19,0 и 20,1 ц/га соответственно. При среднем уровне обеспеченности почвы бором прибавки урожайности семян от борных удобрений были ниже и составили соответственно 7,0 и 6,5 ц/га.

Таблица 5

Влияние борных удобрений на урожайность и масличность семян озимого рапса при различном уровне обеспеченности почвы бором (2009 г.)

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Варианты | Урожайность, ц/га | Прибавка, ц/га | Масличность, % | Сбор масла, ц/га | |
|---------------------------------------|--|-------------------|----------------|----------------|------------------|------|
| Низкое (0,26) | 1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₄₀ – фон | 44,2 | - | 35,2 | 15,6 | |
| | 2. Фон + В _{0,1} | Борная кислота | 53,9 | 9,7 | 35,2 | 19,0 |
| | 3. Фон + В _{0,2} | | 51,4 | 7,2 | 36,8 | 18,9 |
| | 4. Фон + В _{0,3} | | 51,8 | 7,6 | 36,3 | 18,8 |
| | 5. Фон + В _{0,1} | Микро-Стим-Бор | 55,5 | 11,3 | 36,2 | 20,1 |
| | 6. Фон + В _{0,2} | | 54,0 | 9,8 | 34,6 | 18,7 |
| | 7. Фон + В _{0,3} | | 46,8 | 2,6 | 37,2 | 17,4 |
| Среднее (0,59) | 1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₄₀ – фон | 50,5 | - | 35,6 | 17,9 | |
| | 2. Фон + В _{0,1} | Борная кислота | 57,5 | 7,0 | 35,0 | 20,1 |
| | 3. Фон + В _{0,2} | | 54,1 | 3,6 | 36,2 | 19,6 |
| | 4. Фон + В _{0,3} | | 53,2 | 2,7 | 33,6 | 17,9 |
| | 5. Фон + В _{0,1} | Микро-Стим-Бор | 57,0 | 6,5 | 35,7 | 20,3 |
| | 6. Фон + В _{0,2} | | 55,8 | 5,3 | 31,8 | 17,7 |
| | 7. Фон + В _{0,3} | | 54,2 | 3,7 | 33,4 | 18,1 |
| Высокое (0,89) | 1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₄₀ – фон | 55,0 | - | 33,0 | 18,2 | |
| | 2. Фон + В _{0,1} | Борная кислота | 58,4 | 3,4 | 33,7 | 19,7 |
| | 3. Фон + В _{0,2} | | 59,0 | 4,0 | 36,7 | 21,7 |
| | 4. Фон + В _{0,3} | | 53,6 | - | 26,8 | 14,4 |
| | 5. Фон + В _{0,1} | Микро-Стим-Бор | 59,5 | 4,5 | 34,7 | 20,6 |
| | 6. Фон + В _{0,2} | | 56,7 | 1,7 | 37,0 | 21,0 |
| | 7. Фон + В _{0,3} | | 55,1 | - | 29,2 | 16,1 |
| НСР ₀₅ вариантов/уровней | | 3,7/3,3 | | 1,4 | | |

Яровой рапс. При возделывании ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве с содержанием подвижного бора 0,26-0,89 мг/кг отмечается увеличение урожайности семян с 25,0 до 29,4 ц/га (табл. 6).

Таблица 6

Влияние борных удобрений на урожайность и масличность семян ярового рапса при различном уровне обеспеченности почвы бором (2010 г.)

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Варианты | Урожайность, ц/га | Прибавка, ц/га | Масличность, % | Сбор масла, ц/га |
|---------------------------------------|---|-------------------|----------------|----------------|------------------|
| Низкое (0,26) | 1. N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀ – фон | 25,0 | - | 34,5 | 8,6 |
| | 2. Фон + V _{0,1} | Борная кислота | 31,9 | 6,9 | 36,3 |
| | 3. Фон + V _{0,2} | | 28,8 | 3,8 | 40,1 |
| | 4. Фон + V _{0,3} | | 28,2 | 3,2 | 37,4 |
| | 5. Фон + V _{0,1} | Микро-Стим-Бор | 32,2 | 7,2 | 37,1 |
| | 6. Фон + V _{0,2} | | 29,3 | 4,3 | 37,9 |
| | 7. Фон + V _{0,3} | | 28,7 | 3,7 | 30,3 |
| Среднее (0,59) | 1. N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀ – фон | 26,8 | - | 34,7 | 9,3 |
| | 2. Фон + V _{0,1} | Борная кислота | 30,8 | 4,0 | 29,9 |
| | 3. Фон + V _{0,2} | | 30,7 | 3,9 | 28,8 |
| | 4. Фон + V _{0,3} | | 28,8 | 2,0 | 30,8 |
| | 5. Фон + V _{0,1} | Микро-Стим-Бор | 31,9 | 5,1 | 37,2 |
| | 6. Фон + V _{0,2} | | 31,0 | 4,2 | 39,6 |
| | 7. Фон + V _{0,3} | | 30,0 | 3,2 | 29,2 |
| Высокое (0,89) | 1. N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀ – фон | 29,4 | - | 34,7 | 10,2 |
| | 2. Фон + V _{0,1} | Борная кислота | 33,0 | 3,6 | 28,9 |
| | 3. Фон + V _{0,2} | | 31,7 | 2,3 | 34,1 |
| | 4. Фон + V _{0,3} | | 28,5 | - | 29,0 |
| | 5. Фон + V _{0,1} | Микро-Стим-Бор | 33,6 | 4,2 | 36,7 |
| | 6. Фон + V _{0,2} | | 31,9 | 2,5 | 30,8 |
| | 7. Фон + V _{0,3} | | 28,3 | - | 29,4 |
| НСР ₀₅ вариантов/уровней | | 2,1/1,8 | | | |

Внесение борных удобрений в некорневую подкормку на посевах рапса способствовала урожайности семян при низком, среднем и высоком уровне обеспеченности почвы бором. Прибавка урожайности семян по вариантам опыта составляла от 2,0 до 7,2 ц/га.

При обеспеченности супесчаной почвы бором на уровне 0,26-0,89 мг/кг, содержание масла в семенах рапса на фоновых вариантах колебалось в пределах 34,5-34,7 %. Применение борных удобрений в некорневую подкормку растений рапса способствовало повышению содержания масличности в семенах рапса только при низком содержании бора в почве. С увеличением концентрации бора в почве некорневая подкормка не оказывала существенного влияния на масличность семян рапса.

Картофель. Результаты двухлетних исследований свидетельствуют о высокой чувствительности картофеля к различному уровню содержания бора в почве и не-

2. Плодородие почв и применение удобрений

корневой подкормке борными удобрениями (табл. 7). При возделывании картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве оптимальным содержанием бора в почве является 0,6 мг/кг (средний уровень), которое обеспечивает достоверное повышение урожайности клубней с 288 до 354 ц/га и увеличение сбора крахмала с 44,9 до 54,9 ц/га. При повышении уровня содержания бора в почве до 0,89 мг/кг достоверной прибавки урожайности клубней не отмечалось.

Уровень прибавок картофеля от некорневых подкормок борными удобрениями в фазу бутонизации зависел от содержания бора в почве и формы микроудобрений. Самая высокая эффективность от некорневых подкормок борными удобрениями обеспечивается при низком содержании бора в почве (прибавка урожайности картофеля составила 48-64 ц/га). При средней обеспеченности супесчаной почвы бором прибавки урожайности картофеля от некорневых подкормок борными удобрениями были ниже и составили 31-53 ц/га. Следует отметить, что эффективность применения в некорневую подкормку картофеля как жидкого удобрения Микро-Стим-Бор, так и борной кислоты была практически равноценной.

Таблица 7

Влияние борных удобрений на урожайность и качество картофеля при различном уровне обеспеченности почвы бором (2009-2010 гг.)

| Уровни содержания бора в почве, мг/кг | Варианты | Урожайность, ц/га | Прибавка, ц/га | Содержание крахмала, % | Сбор крахмала, ц/га | |
|---------------------------------------|--|-------------------|----------------|------------------------|---------------------|------|
| Низкое (0,38) | 1. Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон | 288 | - | 15,6 | 44,9 | |
| | 2. Фон + В _{0,05} | Борная кислота | 336 | 48 | 16,4 | 55,8 |
| | 3. Фон + В _{0,10} | | 343 | 55 | 15,8 | 54,2 |
| | 4. Фон + В _{0,15} | | 352 | 64 | 16,0 | 56,3 |
| | 5. Фон + В _{0,05} | Микро-Стим-Бор | 342 | 54 | 16,6 | 56,4 |
| | 6. Фон + В _{0,10} | | 345 | 57 | 16,1 | 55,5 |
| | 7. Фон + В _{0,15} | | 352 | 64 | 15,8 | 55,6 |
| Среднее (0,61) | 1. Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон | 354 | - | 15,5 | 54,9 | |
| | 2. Фон + В _{0,05} | Борная кислота | 403 | 49 | 16,3 | 65,7 |
| | 3. Фон + В _{0,10} | | 393 | 39 | 16,1 | 63,3 |
| | 4. Фон + В _{0,15} | | 401 | 47 | 15,1 | 60,6 |
| | 5. Фон + В _{0,05} | Микро-Стим-Бор | 407 | 53 | 15,2 | 61,9 |
| | 6. Фон + В _{0,10} | | 395 | 41 | 15,8 | 62,4 |
| | 7. Фон + В _{0,15} | | 385 | 31 | 15,3 | 58,9 |
| Высокое (0,89) | 1. Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон | 367 | - | 15,2 | 55,8 | |
| | 2. Фон + В _{0,05} | Борная кислота | 376 | 9 | 14,9 | 56,0 |
| | 3. Фон + В _{0,10} | | 405 | 38 | 14,7 | 59,5 |
| | 4. Фон + В _{0,15} | | 404 | 37 | 15,3 | 61,8 |
| | 5. Фон + В _{0,05} | Микро-Стим-Бор | 413 | 46 | 15,2 | 62,8 |
| | 6. Фон + В _{0,10} | | 402 | 35 | 15,8 | 63,5 |
| | 7. Фон + В _{0,15} | | 360 | - | 15,9 | 57,2 |
| НСР ₀₅ вариантов/уровней | | 28,2/35,5 | | | | |

Применение некорневых подкормок борными удобрениями оказывало положительное влияние на повышение содержания крахмала в клубнях картофеля только при низкой обеспеченности почвы бором. Сбор крахмала зависел от урожайности клубней картофеля и составлял по вариантам опыта от 44,9 до 63,5 ц/га.

ВЫВОДЫ

1. Повышение обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы бором с 0,26 до 1,00 мг/кг обеспечивало увеличение урожайности и качества семян льна масличного и рапса, корнеплодов сахарной свеклы, клубней картофеля.

2. Эффективность некорневых подкормок сельскохозяйственных культур борными удобрениями возрастает при низкой обеспеченности почвы бором. При этом жидкое органоминеральное удобрение МикроСтим-Бор имеет преимущество в сравнении с борной кислотой.

3. Максимальную дозу микроудобрений рекомендуется вносить на почвах низко- и среднеобеспеченных бором. Эффективность применения борных удобрений при высоком уровне содержания бора в почве ориентирована на получение высокой урожайности и качественной продукции при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анспок, П. И. Микроудобрения: справочник / П. И. Анспок. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

2. Лен: монография /Институт экономики НАНБ; под ред. З. М. Ильиной – Минск: 2005. –108 с.

3. Шпаар, Д. Некоторые вопросы дальнейшей интенсификации выращивания сахарной свеклы в рамках устойчивого развития земледелия / Д. Шпаар // Пути интенсификации свеклосахарного производства в Республике Беларусь: материалы Междунар. науч.-произв. конф., посвящ. 70-летию Белорус. зон. опыт. станции по сахар. свекле, Несвиж, 3-4 декабря 1998 г. / НАН Беларуси; редкол. И. С. Татур [и др.]. – Минск, 2002. – С. 15-30.

4. Пицко, М. В. Влияние микроудобрений (борного и марганцевого) на урожайность и качество семян рапса ярового на дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дис...канд. с.-х. наук: / М. В. Пицко. – Минск, 2001. – 16с.

5. Применение минеральных удобрений, модифицированных мезо- и микроэлементами, под картофель: рекомендации / РАСХН ВНИИ картофельного хозяйства. – Москва, 2002. – 42с.

6. Школьник, М. Я. Роль и значение бора и других микроэлементов в жизни растений / М. Я. Школьник. – М., 1939. – 222 с.

7. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

8. Нелюбова Г. Л. Изменение содержания бора в дерново-подзолистых почвах при длительном применении различных доз и видов удобрений, известкования / Г. Л. Нелюбова, В. П. Старовойтова // Изв. Тимирязевской с.-х. академии. – 1979. – №2. – С. 100-108.

9. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 28 с.

10. Рак, М. В. Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в современных агротехнологиях / М. В. Рак // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26-30 июля 2010 г.: в 2 ч./ редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – Ч.1. – С. 14-17.

EFFICIENCY OUTSIDE ROOT APPLICATION OF AGRICULTURAL CULTURES BY BORIC FERTILIZER IN RELATION TO B-STATUS OF PODZOLUVISOL LOAMY SAND SOIL

M. V. Rak, Barashkova E. N.

Summary

Results of researtches on study of influence of various levels contents of water soluble boron in podzoluvisol loamy sand soil, doses and forms of boric fertilizers on productivity of agricultural culture are presented in article.

Experimental data shown that efficiency of boric fertilizers was various and depended on level boron content in soil.

Поступила 5 декабря 2011 г.

УДК 631.81.095.337:633.63

ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ МИКРОСТИМ И МИКРОСИЛ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

М. В. Рак, С. А. Титова, Е. Н. Барашкова

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Сахарная свекла является основным источником сырья для производства сахара. В современных технологиях возделывания сахарной свеклы внесение макро- и микроудобрений является основным фактором формирования высокой урожайности с хорошим качеством корнеплодов. При высоком уровне применения макроудобрений под сахарную свеклу резко возрастает роль микроэлементов в создании оптимального баланса питательных веществ. Микроэлементам принадлежит разнообразная агрохимическая и физиологическая роль. Положительное действие микроэлементов обусловлено тем, что они принимают участие в окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обменах [1, 2, 3, 4, 5].

В настоящее время ассортимент микроудобрений нуждается в дальнейшем расширении и оптимизации. С этих позиций перспективно более интенсивное использование жидких микроудобрений в хелатных и органоминеральных формах. Эффективность этих форм микроудобрений выше, чем химических солей, они легко растворимы в воде и более технологичны в применении. Помимо этого,

большое значение имеет использование регуляторов роста природного происхождения (гуматы, экосил и др.), как биологический резерв повышения продуктивности культур. Одним из эффективных способов применения микроэлементов является некорневая подкормка растений в период вегетации. Некорневая подкормка позволяет устранить дефицит микроэлементов в критические фазы роста и развития растений. При нормальной обеспеченности почвы основными элементами питания некорневая подкормка сахарной свеклы дефицитными микроэлементами стимулирует рост и развитие растений, положительно влияет на урожайность и сахаристость корнеплодов. Наибольшая потребность в микроэлементах наблюдается во время интенсивного образования листьев и на почвах с уровнем pH 6,5-7,5 (благоприятная реакция почвенной среды для сахарной свеклы), при засушливых условиях вегетационного периода, когда они становятся труднодоступными для растений [1, 2, 5, 6].

При возделывании сахарной свеклы широко применяются импортные микроудобрения. Однако, в последние годы все шире внедряются отечественные новые жидкие микроудобрения, содержащие микроэлементы и регуляторы роста природного происхождения.

Цель исследований – изучить влияние некорневых подкормок новыми жидкими микроудобрениями МикроСтим и МикроСил на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение эффективности применения различных марок новых жидких микроудобрений МикроСтим и МикроСил при возделывании сахарной свеклы проводили в 2009-2011 гг. в СПК «Городея» Несвижского района Минской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой и связно-супесчаной почве. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы опытных участков: 2009 год: pH в KCl – 6,9, содержание гумуса – 2,24 %, P_2O_5 – 347 мг/кг, K_2O – 255, Cu – 1,3, Mn обм. – 0,8, Zn – 2,15 мг/кг почвы; 2010 год: pH в KCl – 6,64, содержание гумуса – 2,05 %, P_2O_5 – 327 мг/кг, K_2O – 302, Cu – 0,86, B – 0,61, Mn обм. – 0,27, Zn – 1,64 мг/кг почвы; 2011 год: pH в KCl – 5,94, содержание гумуса – 2,44 %, P_2O_5 – 265 мг/кг, K_2O – 327, Cu – 1,54, B – 0,69, Zn – 2,17 мг/кг почвы. Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа. Площадь делянки 30 м², повторность опыта 4-х кратная, размещение делянок рендомизированное.

Агротехника возделывания сахарной свеклы общепринятая для Беларуси. Возделывали сахарную свеклу гибрид Золеа (2009 г.), Авиа (2010 г.) и Берни (2011 г.). Предшественники – озимое тритикале, озимая пшеница. Норма высева семян сахарной свеклы – 1,2 посевные единицы. Сахарную свеклу возделывали на фоне органических и минеральных удобрений: навоз 60 т/га и $N_{150}P_{75}K_{240}$ (2009 г.), навоз 80 т/га и $N_{150}P_{91}K_{206}$ (2010 г.), навоз 80 т/га и $N_{176}P_{65}K_{269}$ (2011 г.). Минеральные удобрения вносили в виде мочевины, КАС, аммофоса, хлористого калия и АФК. При возделывании сахарной свеклы применяли интегрированную систему защиты растений.

В РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработаны различные марки микроудобрений МикроСтим и МикроСил с регуляторами роста природного про-

исхождения гуматами и экосилом [7, 8]. Микроудобрения МикроСтим и МикроСил представляют собой водорастворимые концентраты, содержащие микроэлементы в хелатной или органоминеральной формах. В полевых опытах различные марки микроудобрений МикроСтим и МикроСил использовались для некорневой подкормки вегетирующих растений сахарной свеклы в рекомендуемых дозах и сроках. Рабочий раствор готовится непосредственно перед проведением некорневой подкормки растений путем разведения концентрата удобрения водой. Схемы опытов, дозы микроудобрений и фоны удобрений представлены далее в таблицах. Доза микроудобрений в одну некорневую подкормку составляла: МикроСил-Бор – 1,5-2,0 л/га, МикроСил-Бор, Медь – 1,5-2,0, МикроСтим-Бор – 1,5-2,0 л/га, МикроСтим-Бор, Медь – 1,5-2,0 л/га. Расход рабочего раствора 200 л/га. Некорневые подкормки различными марками микроудобрений МикроСтим и МикроСил проводили в фазу 10-12 листьев и через 1,5 месяца после первой обработки. Учет урожайности корнеплодов сахарной свеклы поделяночный. Экономическая эффективность применения новых микроудобрений в некорневые подкормки сахарной свеклы рассчитывались по методике разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что при возделывании сахарной свеклы применение жидких хелатных микроудобрений на фоне органических и минеральных удобрений способствуют повышению урожайности корнеплодов (табл. 1). В среднем за два года двукратная некорневая подкормка сахарной свеклы (в фазу 10-12 листьев и через 1,5 месяца после первой) микро-удобрениями МикроСтим и МикроСил обеспечила повышение урожайности корнеплодов с 518 ц/га до 557 ц/га и с 575 ц/га до 617 ц/га соответственно. Прибавки урожайности корнеплодов от микроудобрения МикроСтим-Бор в дозе 1,5-2,0 л/га составили 31-39 ц/га, от МикроСтим-Бор, Медь в тех же дозах – 28-38 ц/га в сравнении с фоновым вариантом.

Применение в некорневую подкормку сахарной свеклы микроудобрений МикроСил-Бор и МикроСил-Бор, Медь в тех же дозах повышало урожайность корнеплодов на 23-32 и 32-42 ц/га соответственно. По годам прибавки урожая колебались от 23 до 44 ц/га. При этом наибольший эффект был достигнут при применении повышенных доз исследуемых микроудобрений.

При возделывании сахарной свеклы большое значение наряду с урожайностью имеют показатели качества корнеплодов. Внесение различных марок микроудобрений МикроСтим и МикроСил в некорневые подкормки сахарной свеклы способствует повышению технологических свойств корнеплодов. Улучшение технологических свойств корнеплодов происходит, главным образом, за счет повышения сахаристости и снижения содержания альфа-аминного азота корнеплодов. По годам исследуемые микроудобрения повышали содержание сахара на 0,2-0,6 % в сравнении с фоновым вариантом. Комплексным показателем влияния исследуемых микроудобрений на урожайность и качество корнеплодов является выход сахара. Применение исследуемых микроудобрений МикроСтим-Бор и МикроСтим-Бор, Медь в различных дозах способствовало повышению расчетного выхода сахара на 3,0-5,6 ц/га, МикроСил-Бор и МикроСил-Бор, Медь – 3,8-7,2 ц/га в сравнении с фоновым вариантом.

Влияние различных марок микроудобрений МикроСтим и МикроСил на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы

| Варианты | Урожайность, ц/га | Прибавка к фону, ц/га | Технологические свойства корнеплодов | | | | Расчетный выход сахара, ц/га |
|---|-------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------|------|------|------------------------------|
| | | | содержание сахара, % | K | Na | α-N | |
| | | | | м-моль/100 г | | | |
| Микроудобрение МикроСтим (среднее 2009, 2011 гг.) | | | | | | | |
| 1. Навоз + NPK – фон | 518 | - | 17,1 | 5,21 | 0,11 | 1,98 | 77,1 |
| 2. Фон + МикроСтим-Бор (1,5 л/га) | 549 | 31 | 17,1 | 4,89 | 0,11 | 1,28 | 82,7 |
| 3. Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га) | 557 | 39 | 16,8 | 6,30 | 0,15 | 1,67 | 80,7 |
| 4. Фон+МикроСтим-Бор, Медь (1,5 л/га) | 546 | 28 | 16,8 | 5,85 | 0,18 | 1,46 | 80,1 |
| 5. Фон+МикроСтим-Бор, Медь (2,0 л/га) | 556 | 38 | 16,8 | 5,77 | 0,11 | 1,63 | 80,9 |
| НСР ₀₅ | 27 | | | | | | |
| Микроудобрение МикроСил (среднее 2010-2011 гг.) | | | | | | | |
| 1. Навоз + NPK – фон | 575 | - | 17,4 | 5,70 | 0,12 | 2,05 | 86,2 |
| 2. Фон + МикроСил-Бор (1,5 л/га) | 598 | 23 | 17,2 | 4,78 | 0,15 | 1,86 | 90,0 |
| 3. Фон + МикроСил-Бор (2,0 л/га) | 607 | 32 | 17,7 | 5,08 | 0,13 | 1,79 | 93,4 |
| 4. Фон+ МикроСил-Бор, Медь (1,5 л/га) | 607 | 32 | 17,4 | 5,65 | 0,14 | 1,94 | 92,0 |
| 5. Фон+ МикроСил-Бор, Медь (2,0 л/га) | 617 | 42 | 17,5 | 5,89 | 0,13 | 2,23 | 93,1 |
| НСР ₀₅ | 22 | | | | | | |

В современных условиях ведения сельскохозяйственного производства значительно возросла актуальность ресурсосбережения и экономии материально-технических затрат. В связи с этим научно-обоснованная система применения микроудобрений должна обеспечивать не только повышение урожайности и качества продукции, но и быть экономически обоснованной. Расчеты экономической эффективности применения новых микроудобрений показали, что использование в некорневые подкормки микроудобрений МикроСтим и МикроСил было экономически оправданным приемом (табл. 2). Рентабельность некорневых подкормок сахарной свеклы различными марками и дозами микроудобрений МикроСтим составила 95-109 %, МикроСил – 80-112 %.

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах применение жидких микроудобрений МикроСтим и МикроСил в некорневые подкормки сахарной свеклы на фоне органических и минеральных удобрений повышало урожайность корнеплодов на 23-42 ц/га, выход сахара – на 3,0-7,2 ц/га.

2. Использование в некорневые подкормки сахарной свеклы микроудобрений МикроСтим и МикроСил является экономически оправданным приемом, обеспечивающим рентабельность 80-112 %.

Экономическая эффективность применения в некорневые подкормки сахарной свеклы различных марок микроудобрений МикроСтим и МикроСил

| Варианты | Прибавка урожая, ц/га | Стоимость прибавки, тыс. руб./га | Всего затрат, тыс. руб./га | Прибыль, тыс. руб./га | Рентабельность, % |
|---|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1. Фон + МикроСтим-Бор (1,5 л/га) | 31 | 870,5 | 433,1 | 437,4 | 101 |
| 2. Фон + МикроСтим-Бор (2,0 л/га) | 39 | 1095,1 | 523,4 | 571,7 | 109 |
| 3. Фон + МикроСтим-Бор, Медь (1,5 л/га) | 28 | 786,2 | 403,5 | 382,7 | 95 |
| 4. Фон + МикроСтим-Бор, Медь (2,0 л/га) | 38 | 1067,0 | 512,1 | 554,9 | 108 |
| 5. Фон + МикроСил-Бор (1,5 л/га) | 23 | 645,8 | 359,7 | 286,1 | 80 |
| 6. Фон + МикроСил-Бор (2,0 л/га) | 32 | 898,6 | 459,9 | 438,7 | 95 |
| 7. Фон + МикроСил-Бор, Медь (1,5 л/га) | 32 | 898,6 | 446,9 | 451,7 | 101 |
| 8. Фон + МикроСил-Бор, Медь (2,0 л/га) | 42 | 1179,4 | 557,5 | 621,9 | 112 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Красюк, Н. А. Современные технологии производства и использования сахарной свеклы / Н. А. Красюк. – Минск: Вараксин, 2010. – 502 с.
2. Сахарная свекла (Выращивание, уборка, хранение) / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск: Орех, 2004. – 326 с.
3. Рациональное применение удобрений / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 324 с.
4. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск: БелНИИПА, 2002. – 184 с.
5. Вострухина, Н. П. Сахарная свекла. Качество корнеплодов и выход сахара / Н. П. Вострухина, Н. П. Вострухин. – Минск: Ураджай, 1997. – 133 с.
6. Рак, М. В. Некорневые подкормки микроудобрениями в технологии возделывания сельскохозяйственных культур / М. В. Рак, М. Ф. Дембицкий, Г. М. Сафронюк // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – №2. – С.25-27.
7. Микроудобрения с биостимулятором «МикроСтим»: ТУ ВУ 100079183.006-2008. – Введ. 06.11.2008. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 15 с.
8. Микроудобрения с экосилом «МикроСил»: ТУ ВУ 100079183.007-2008. – Введ. 06.11.2008. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 14 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

EFFECT OF MICRONUTRIENTS MICROSTIEM AND MICROSIL ON YIELD AND QUALITY OF SUGAR BEET

M. V. Rak, S. A. Titova, E. N. Barashkova

Summary

In the field experiments on Luvisol soils the effect of foliar fertilizing with new liquid fertilizers, MicroStiem and MicroSil, on sugar beet yield and quality was studied. Sugar

beet was cultivated according to intensive technology. It was established that the double foliar feeding of sugar beet with these preparation resulted in the enhance of crop yield by 23-42 c/ha, sugar yield by 3,0-7,2 c/ha at profitability 80-112 %.

Поступила 5 декабря 2011 г.

УДК 631.461.5:631.445.2:631.836

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ РЫХЛОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ

Н. А. Михайловская, И. М. Богдевич, Т. В. Погирницкая, О. В. Василевская
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее значимым антропогенным фактором, оказывающим влияние на ферментативную активность почв, являются удобрения. Повышенная нагрузка по минеральным удобрениям или их несбалансированное применение могут негативно воздействовать на интенсивность и направленность биохимической трансформации органического вещества [1]. В связи с этим возрастает экологическая актуальность диагностики биологического состояния почв в зависимости от их обеспеченности элементами минерального питания.

Калий является одним из основных биогенных элементов, необходимых для питания растений, он выполняет важнейшие физиологические и биохимические функции в метаболизме растительной клетки. Дефицит калия или его избыточное содержание в почве негативно влияют на развитие растений [2-4]. Содержание калия в почве и калийные удобрения являются значимыми факторами, регулирующими биологическое состояние почвы.

Актуальность биологических исследований обусловлена как экологическими, так и экономическими соображениями. Возрастающая стоимость калийных удобрений также требует биологической оценки избыточного накопления подвижного калия в почве, чтобы избежать нерациональных экономических затрат. При очень высоком содержании калия в почве прибавки урожая резко снижаются, а применение калийных удобрений становится нерентабельным или убыточным [2].

Несмотря на ведущую роль биологических показателей в качестве диагностических критериев изменений, вызываемых антропогенной деятельностью, в настоящее время они используются недостаточно. Научная информация по влиянию обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв республики подвижным калием на ее ферментативную активность очень ограничена [5]. Недостаток информации по этой проблеме вызывает необходимость проведения исследований по расширенному спектру биохимических показателей.

Наиболее целесообразно проводить такие исследования в модельных полевых экспериментах, где сформирован широкий диапазон различий по содержанию подвижного калия. Это позволяет получить значительный объем информации для сравнительного анализа и установления биологически обоснованных уровней обеспеченности почвы калием.

Цель исследований – в модельном полевом эксперименте установить влияние обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным калием на ее ферментативную активность по следующим показателям – дегидрогеназной, полифенолоксидазной, инвертазной и уреазной активности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в многолетнем стационарном опыте на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной в СПК «Хотляны» (Узденский р-н Минская обл.) в 2008-2010 гг. Агрохимические свойства почвы: рН (KCl) – 6,0-6,2, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) – 300-350 мг/кг, гумус – 2,64-2,71 %, обменный кальций (CaO) – 800-850 мг/кг, обменный магний (MgO) – 140-150 мг/кг. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы обменным калием. В период исследований содержание K_2O составило: первый уровень – 102 мг/кг, второй – 196, третий – 288 и четвертый – 390 мг/кг почвы. На каждом уровне насыщения калием изучали 4 варианта внесения удобрений (карбамид, аммофос, хлористый калий): NP – фон, фон + K_{60} , фон + K_{90} , фон + K_{120} . Доза фосфорных удобрений 30 кг/га (P_2O_5). Дозы азотных удобрений дифференцируются в зависимости от возделываемой культуры. Общая площадь делянок – 45 м². В годы исследований в опыте возделывали горох WSB 1.132128 и озимое тритикале Вольтарио.

Для оценки дегидрогеназной активности почвы использовали модифицированный метод А. Ш. Галстяна [6], активность фермента выражали в мг трифенилформазана (ТФФ)/кг почвы. Активность полифенолоксидазы оценивали колориметрическим методом по трансформации гидрохинона в почве, разработанной Л. А. Карягиной, Н. А. Михайловской [7]. Активность инвертазы определяли по методу, предложенному Т. А. Щербаковой, с использованием динитросалициловой кислоты в качестве индикатора редуцирующих сахаров, активность фермента выражали в мг глюкозы/кг почвы [8]. Уреазную активность почвы определяли по методу Т. А. Щербаковой с использованием реактива Несслера для количественного определения $N-NH_4^+$ (мг/кг почвы за 4 часа при $t = 37^\circ C$) [6]. Отбор почвенных образцов для биологических исследований проводили ежегодно весной до внесения удобрений [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биологическое состояние почвы является одним из основных критериев оценки уровня антропогенной нагрузки. Для объективной и разносторонней оценки антропогенного воздействия важно изучение биохимического статуса почв. По ряду причин традиционные микробиологические показатели не нашли широкого практического применения для диагностических целей, в том числе из-за их высокой вариабельности, трудоемкости и длительности лабораторных исследований. В этом отношении ферментативная диагностика имеет очевидные преимущества. Почвенные ферменты играют ключевую роль в процессах трансформации органического вещества. Ферментативная активность количественно отражает уровень заселенности почвы микроорганизмами, так как основными источниками поступающих в почву ферментов являются микроорганизмы. Каталитические свойства

почвы в значительной мере обусловлены действием внеклеточных ферментов микробного происхождения, которые адсорбируются глинистыми минералами, гуминовыми и нуклеиновыми кислотами, полисахаридами. Стабилизированные за счет связи с минеральными и органическими компонентами почвы внеклеточные ферменты функционируют, в том числе и при неблагоприятных условиях дефицита влаги и элементов питания, когда численность многих групп микроорганизмов резко снижается, а некоторые виды погибают. Стабилизированные внеклеточные ферменты устойчивы к протеолизу и защищены от инактивации [10, 11]. Перечисленные факторы обуславливают значительно большую стабильность ферментативных показателей по сравнению с традиционными микробиологическими. Аргументами в пользу ферментативной диагностики являются также относительная простота измерения и быстрый отклик на антропогенное воздействие.

Автоморфные дерново-подзолистые супесчаные почвы, подстилаемые моренными суглинками, на которых проведены биологические исследования, широко распространены на территории Беларуси и занимают в составе пашни 48,5 %. В длительном модельном полевом эксперименте с искусственно сформированной дифференциацией по содержанию подвижного калия в диапазоне 102-390 мг/кг K_2O получены данные по ферментативной активности почвы, сравнительный анализ которых с показателями продуктивности сельскохозяйственных культур позволил определить биологически обоснованные уровни обеспеченности почвы подвижным калием.

Для оценки общего уровня биогенности почвы использована ее дегидрогеназная активность. Дегидрогеназы имеются у абсолютного большинства микроорганизмов. Этот показатель позволяет получать информацию о живом микробном населении почвы. Процессы дегидрирования органического субстрата происходят при участии дегидрогеназ живых клеток почвенных микроорганизмов. Установлено повышение численности микробных сообществ почвы по мере насыщения почвы подвижным калием от 102 до 288 мг/кг. При повышении содержания калия в почве до 390 мг/кг отмечено снижение численности микробных сообществ почвы (рис. 1).

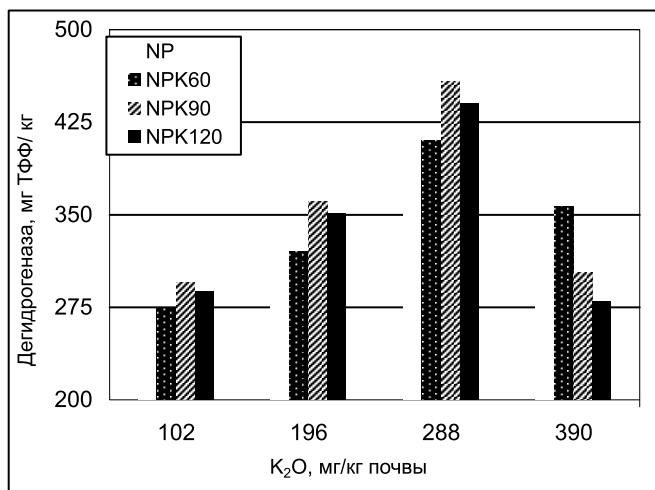


Рис. 1. Дегидрогеназная активность при разном содержании подвижного калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2008-2010 гг.)

2. Плодородие почв и применение удобрений

Оптимальный уровень биогенности почвы по показателям дегидрогеназной активности регистрируется на втором и третьем уровнях обеспеченности калием 196 и 288 мг/кг, активность фермента составляет 320-440 мг ТФФ/кг. Внесение K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O , а также внесение K_{60} , K_{90} и K_{120} при содержании в почве 288 мг/кг K_2O поддерживает оптимальный уровень дегидрогеназной активности; при этом обеспечивается продуктивность севооборота – 54-57 ц/га к. ед. окупаемость калийных удобрений в пределах 6,2-9,4 к. ед. на 1 кг K_2O (табл., рис. 1). При содержании в почве 390 мг/кг K_2O намечается тенденция к снижению дегидрогеназной активности. Снижение этого показателя свидетельствует об ухудшении условий для жизнедеятельности микроорганизмов, выделяющих дегидрогеназы.

Выполнены анализы почвенных образцов по определению активности полифенолоксидазы. Значимость этого биохимического показателя обусловлена тем, что микробные фенолоксидазы являются основными агентами гумификации лигнинов растительных остатков в почве. Растительные остатки, служащие основным источником гумусовых веществ в почве, на 15-30 % состоят из лигнинов. Наряду с белками, лигнины являются основными поставщиками структурных единиц для гумификации и рассматриваются как основные гумусообразователи [12, 13, 14]. Несмотря на то, что лигнины отличаются устойчивостью к разложению по сравнению с другими компонентами растительных остатков, они быстро гумифицируются в почве под действием микробных оксидаз [13, 14]. Эти ферменты катализируют процессы окисления ароматических соединений и их производных до хинонов, которые в соответствующих условиях конденсируются с аминокислотами и пептидами с образованием первичных молекул гуминовых кислот [13, 14].

Таблица

Продуктивность севооборота и окупаемость калийных удобрений в зависимости от содержания подвижных форм калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2001-2008 гг.)

| Варианты | Продуктивность, к. ед. ц/га | | | | Прибавка к. ед. на 1 кг K_2O | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|------|------|------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| | Содержание K_2O , мг /кг почвы | | | | | | | |
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| Контроль | 22,8 | 32,3 | 34,6 | 34,1 | - | - | - | - |
| $N_{80}P_{30}$ – фон | 35,9 | 46,5 | 49,6 | 50,2 | - | - | - | - |
| Фон + K_{60} | 40,7 | 50,8 | 54,1 | 52,9 | 7,9 | 7,2 | 7,6 | 4,6 |
| Фон + K_{90} | 44,1 | 55,0 | 56,1 | 54,4 | 9,1 | 9,4 | 7,3 | 4,7 |
| Фон + K_{120} | 47,4 | 56,6 | 57,0 | 53,6 | 9,6 | 8,4 | 6,2 | 2,9 |
| $НСП_{05}(K_2O)$ (варианты) | 1,5 1,7 | | | | | | | |

Хорошая корреляция с продуктивностью сельскохозяйственных культур позволяет использовать полифенолоксидазную активность почвы при оценке оптимальной нагрузки по калию. Оптимальный интервал активности фермента – 42-49 мг хинона/кг почвы отмечен при внесении K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O , а также при внесении K_{60} , K_{90} и K_{120} при содержании 288 мг/кг K_2O , что соответствовало и высокой продуктивности культур севооборота 54-57 ц/га к. ед. (табл. 1, рис. 2).

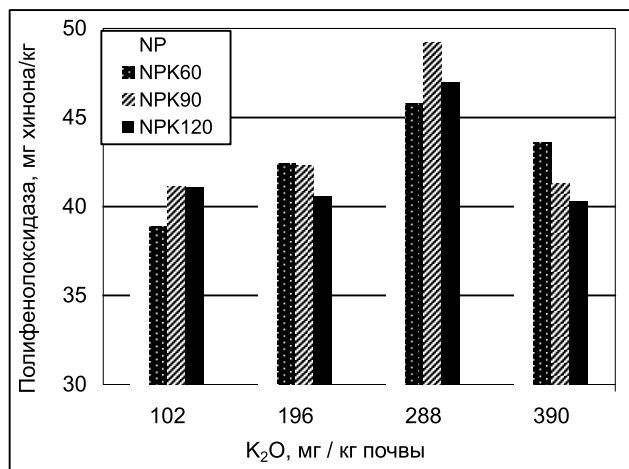


Рис. 2. Полифенолоксидазная активность в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2008-2010 гг.)

Важнейшей функцией почвы, тесно связанной с биохимической деятельностью микроорганизмов, является ее способность трансформировать сложные высокомолекулярные органические соединения в усвояемые структурные единицы. Динамика и мобилизация элементов питания связана с действием стабилизированных в почве гидролитических ферментов.

В состав растительных тканей входят углеводы, существенно различающиеся по скорости разложения – моно-, олиго- и полисахариды. Количество растворимых моносахаридов относительно невелико, по сравнению с трудно разлагаемыми полисахаридами, к которым относятся гемицеллюлозы, крахмал и целлюлоза. Медленно разлагаемая целлюлоза составляет около 40-70 % сухого вещества растительных остатков и является наиболее значимым полисахаридом, поступающим в почву. Ферментативный гидролиз полисахаридов до мономеров представляет собой сложный многоступенчатый процесс, который на разных стадиях катализируется специфическими группами ферментов.

Инвертазы осуществляют гидролитическое разложение сахарозы, их активность является показателем скорости накопления глюкозы и фруктозы в почве. В цикле углерода почвы инвертазы также играют важную роль, высвобождая легко растворимые низкомолекулярные сахара, которые представляют источник питания для микроорганизмов [12, 15, 16]. Высокий уровень активности инвертаз способствует развитию микробной биомассы и поддерживает определенный уровень биогенности почвы.

В эксперименте установлено, что оптимальные показатели инвертазной активности – 3290-3760 мг глюкозы/кг почвы отмечены при внесении K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O , а также при дозах K_{60} , K_{90} и K_{120} при содержании в почве 288 мг/кг K_2O , что соответствовало и высокой продуктивности культур севооборота 54-57 ц/га к. ед. (табл., рис. 3). При содержании в почве 390 мг/кг K_2O , уровень активности инвертазы существенно понижен, что указывает на снижение интенсивности минерализации органического вещества почвы. Дальнейшее насыщение подвижным калием свыше 288 мг/кг почвы не улучшает биологическую

2. Плодородие почв и применение удобрений

ситуацию в почве и нецелесообразно, так как отмечается депрессия активности фермента и снижение продуктивности сельскохозяйственных культур (табл.). Соотнесение показателей инвертазной активности с показателями продуктивности севооборота показывает, что они являются надежными ферментативными показателями для нормирования нагрузки по калию на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (рис. 3).

Важная роль принадлежит гидролитическим ферментам цикла азота. Как известно, основная часть азота находится в почве в виде сложных органических соединений (94-95 %). Азот, входящий в состав белков и их производных, становится доступным для растений в результате аммонификации. На разных ступенях аммонификации действуют специфические группы гидролитических ферментов. В результате последовательного протеолитического разложения до полипептидов и аминокислот, и далее под действием амидогидролаз и дезаминаз, азот органических соединений переходит в минеральную форму [17]. Таким образом, действие гидролитических ферментов – протеаз, пептидаз, дезаминаз и амидогидролаз определяет динамику азота в почве. На завершающих стадиях аммонификации, обеспечивающих образование аммония, действуют амидогидролазы, к которым относится уреазы.

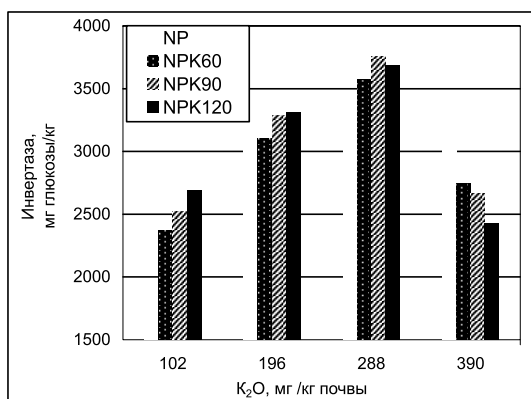


Рис. 3. Инвертазная активность при разном содержании подвижного калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2008-2010 гг.)

В наших исследованиях установлено, что наиболее оптимальный диапазон уреазной активности – 250-270 мг N-NH₄⁺/кг почвы обеспечивает внесение K₉₀ и K₁₂₀ при содержании в почве 196 мг/кг K₂O, а также при внесении K₆₀, K₉₀ и K₁₂₀ при содержании в почве 288 мг/кг K₂O, что соответствовало и высокой продуктивности культур севооборота 54-57 ц/га к. ед. (табл., рис. 4). При повышенном содержании K₂O в почве 390 мг/кг, отмечается снижение активности уреазы, свидетельствующее о снижении интенсивности накопления минерального азота в почве. Насыщение почвы подвижным калием свыше 288 мг/кг почвы представляется нецелесообразным, так как отмечается депрессия аммонификации и снижение продуктивности культур севооборота. Сравнительный анализ данных по уреазной активности и продуктивности севооборота (табл., рис. 4) показывает, что уреазную активность можно рекомендовать в качестве объективного ферментативного критерия для нормирования нагрузки по калию на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве.

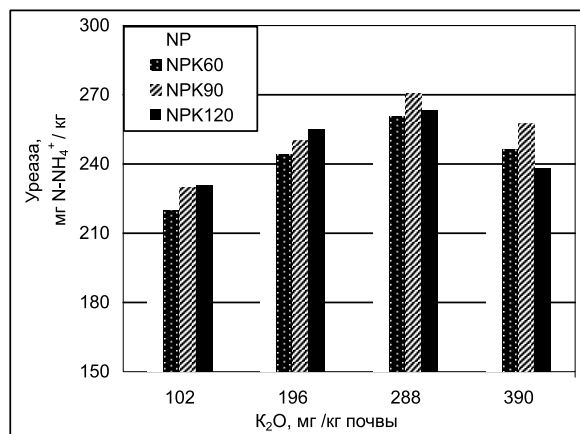


Рис. 4. Уреазная активность дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы при разной обеспеченности подвижным калием

Таким образом, проведение биологических исследований в модельном поле-вом эксперименте на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы с искусственно сформированной дифференциацией по содержанию подвижного калия в диапазоне 102-390 мг/кг K₂O позволило получить данные по активности ряда ключевых почвенных ферментов – дегидрогеназной, полифенолоксидазной, инвертазной и уреазной. Сравнительный анализ ферментативной активности и продуктивности сельскохозяйственных культур позволил определить биологически обоснованные уровни обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным калием.

ВЫВОДЫ

При оценке биохимического статуса дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы с дифференциацией по содержанию подвижных форм калия установлено, что наиболее адекватными ферментативными показателями для нормирования нагрузки по калию являются дегидрогеназная, инвертазная, уреазная и полифенолоксидазная активность почвы. Установлены количественные изменения ферментативной активности дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от содержания K₂O в почве и возрастающих доз калийных удобрений. Насыщение почвы K₂O и внесение калийных удобрений приводит к повышению заселенности почвы микроорганизмами, интенсификации процессов гумификации лигнинов растительных остатков и аммонификации органических азотсодержащих соединений с выделением неорганического азота, а также повышает скорость минерализации сахарозы в почве. Оптимальные показатели ферментативной активности почвы (дегидрогеназной – 320-440 мг ТФФ/кг, инвертазной – 3290-3760 мг глюкозы/кг, полифенолоксидазной – 42-49 мг хинона/кг и уреазной активности – 250-270 мг N-NH₄/кг) отмечаются при содержании 196-288 мг K₂O на кг почвы. Внесение повышенных доз K₉₀₋₁₂₀ при содержании 196 мг K₂O/кг почвы или K₆₀₋₉₀ при содержании 288 мг K₂O/кг почвы, поддерживает оптимальный уровень ферментативной активности почвы. В этих агрохимических вариантах

и обеспечивается наибольшая продуктивность севооборота 54-57 ц к. ед. с гектара. При содержании подвижного калия около 390 мг/кг и более отмечается существенное снижение ферментативной активности и снижение продуктивности сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туев, Н. А. Экологические проблемы интенсивного земледелия / Н. А. Туев // Вестн. с.-х. науки. – 1988. – №6. – С. 91–95.
2. Оптимизация и поддержание агрохимических свойств дерново-подзолистых почв, обеспечивающих стабильно высокую урожайность и качество продукции основных сельскохозяйственных культур: рекомендации / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 48с.
3. Синягин, И. И. Превращения фосфорных и калийных удобрений в почве и повышение их усвояемости / И. И. Синягин // МСХ СССР, ВНИИНТИ. – 1969. – С. 6-24.
4. Агрохимия: учеб. издание / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 1995. – 480 с.
5. Михайловская, Н. А. Влияние возрастающей обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижными формами фосфора и калия на биологические показатели плодородия / Н. А. Михайловская, Г. В. Мороз // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск-Гомель, 1995. – С. 206.
6. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
7. Карагіна, Л. А. Вызначэнне актынасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе / Л. А. Карагіна, Н. А. Міхайлоўская // Весці АН БССР. Сер. с.-г. навук. – 1986. – №2. – С. 40-41.
8. Щербакова, Т. А. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве / Т. А. Щербакова // Сборник докладов по ферментам почвы. – Минск, 1968. – С. 453-455.
9. Михайловская, Н. А. Влияние системы удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / Н. А. Михайловская, О. Миканова, О. В. Рудько // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – №2(39). – С. 186-195.
10. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
11. Boyd, S. A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S. A. Boyd, M. M. Mortland // *Soil Biochemistry* / Editors J. M. Bollag, G. Stotzky. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1-28.
12. Туев, Н. А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н. А. Туев. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 237 с.
13. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. – М.: АН СССР, 1963. – 315 с.
14. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.
15. Звягинцев, Д. Г. Почва и микроорганизмы / Д. Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.
16. Карягина, Л. А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л. А. Карягина. – Минск: Наука и техника, 1983. – 182 с.

17. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова – М.: МГУ, 2005. – 445 с.

ENZYMATIC ACTIVITY OF LUVISOL LOAMY SAND SOIL UNDER DIFFERENT MOBILE POTASSIUM SUPPLY

N. A. Mikhailouskaya, I. M. Bogdevitch, T. V. Pogirnitskaya, O. V. Vasilevskaya

Summary

It was found that optimal parameters of soil dehydrogenase, polyphenoloxidase, invertase, urease activities and high crop productivity were observed under Luvisol loamy sand soil supply by mobile potassium at the level of $196 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ and K_{90-120} application as well as at the level of $288 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ and K_{60-120} application. Excess of mobile potassium content in soil resulted in reliable depression of soil enzymatic activity, stabilization or reduction of crop productivity.

Поступила 1 сентября 2011 г.

УДК 631.461.73:631.559:631.445.2

СВОЙСТВА ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ

**Н. А. Михайловская, О. Миканова, Т. Б. Барашенко,
Е. Г. Тарасюк, С. В. Дюсова**

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор – один из основных элементов питания растений, регулирующих формирование урожая и его качество [1, 2]. В связи с тем, что запасы фосфатного сырья ограничены, а производство фосфорных удобрений требует высоких экономических затрат, возникает необходимость поисков дополнительных источников фосфатного питания. Одним из альтернативных способов улучшения фосфатного питания растений является мобилизация труднодоступных минеральных форм фосфора за счет деятельности ризосферных микроорганизмов [3-9]. Разработка и внедрение современных достижений сельскохозяйственной биотехнологии может обеспечить экологическую безопасность и экономию ресурсов.

В странах с развитым сельским хозяйством активно проводятся исследования по микробной фосфатмобилизации, что свидетельствует об актуальности и перспективности этого направления. Разрабатываются микробные инокулянты для улучшения фосфатного питания сельскохозяйственных культур [10, 11]. К настоящему времени наиболее изучена фосфатрастворяющая активность клубеньковых бактерий [12-15].

В Институте почвоведения и агрохимии также проводятся исследования по этой проблеме. Фосфатмобилизующие бактерии выделены из ризоплана и ризосферы злаковых культур, изучаются их свойства и эффективность.

Одной из актуальных задач в рамках проблемы оптимизации фосфатного питания растений является эффективное использование остаточных количеств фосфатов, накапливающихся в почве при внесении фосфорных удобрений [1]. Источником накопления фосфатов в почве является относительно невысокая эффективность использования фосфорных удобрений. Известно, что коэффициент использования фосфорных удобрений не превышает 25 % [1]. Большая часть этих фосфатов представлена нерастворимыми трехкальциевыми фосфатами, недоступными для питания растений. Внесенный в почву суперфосфат достаточно быстро переходит в длительно сохраняющийся в почве трехкальциевый фосфат, который не может быть непосредственно использован растениями [2].

Цель исследований – изучить потенциальную активность фосфатмобилизации и стимуляции роста изолятов фосфатмобилизующих бактерий в лабораторных экспериментах, а также их влияние на урожайность яровой пшеницы в полевых экспериментах на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили фосфатмобилизующие бактерии, изолированные нами из ризоплана и ризосферы злаковых культур. Для оценки потенциальной активности фосфатмобилизации у изолятов бактерий и их способности стимулировать рост растений проведены лабораторные эксперименты.

Лабораторные эксперименты по изучению действия фосфатмобилизующих бактерий на проростки пшеницы. В лабораторном эксперименте изучено действие фосфатмобилизующих бактерий на развитие проростков пшеницы. Семена были предварительно простерилизованы, отмыты стерильной водопроводной водой и пророщены. В стерильных условиях проростки (10 шт.) помещали на бумажные фильтры в чашки Петри, увлажняли водой (3 мл) и инокулировали 3-х суточными культурами фосфатмобилизующих бактерий (1 мл). В контрольные чашки добавляли стерильную воду (4 мл) [18].

Количественная оценка активности фосфатмобилизации у ризобактерий. В стерильных условиях жидкую питательную среду, не содержащую растворимого фосфора, инокулировали фосфатмобилизующими бактериями. После инкубации в термостате при 28°C в течение 7 дней при постоянном перемешивании (на качалке) суспензию центрифугировали, супернатант фильтровали, в фильтрате определяли содержание подвижного фосфора [7, 16]. Состав питательной среды (г/л): глюкоза 10,0 г, аспарагин 1,0 г, K_2SO_4 , $MgSO_4 \times 7H_2O$ 0,4 г, дрожжевой автолизат 0,2 г. В качестве единственного источника фосфора использовали $Ca_3(PO_4)_2$. В конце эксперимента проведен контроль pH среды.

Эффективность фосфатмобилизующих бактерий на посевах озимого триитикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным фосфором. Исследования проведены в многолетнем стационарном опыте (СПК «Хотляны» Узденского района) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной. Агрохимические свойства почвы близки к оптимальным: pH (KCl) 6,0-6,2, содержание подвижного калия (по Кирсанову) 300-350 мг/кг, гумус 2,64-2,71 %, обменный кальций (CaO) 800-850 мг/кг, обменный магний (MgO)

140-150 мг/кг. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы подвижными формами фосфора. В годы исследований содержание подвижного фосфора составило: первый уровень – 207, второй – 244, третий – 286 и четвертый – 394 мг/кг P_2O_5 . На каждом уровне насыщения фосфором изучают 5 вариантов внесения фосфорных удобрений в четырех повторениях: контроль (без удобрений), НК – фон, фон + P_1 , фон + P_2 , фон + P_3 .

Чередование культур в севообороте: кукуруза, яровая пшеница, однолетние травы на зеленую массу, озимая рожь, яровая пшеница, горох, озимое тритикале, горох, озимое тритикале. Под кукурузу внесен навоз – 60 т/га. Дозы азотных удобрений дифференцируются в зависимости от возделываемой культуры. Общая площадь делянок – 45 м². Жидкий препарат фосфатмобилизующих бактерий внесен весной путем некорневой обработки посевов. Титр жизнеспособных клеток – $1,8 \times 10^8$ КОЕ/мл.

Эффективность фосфатмобилизующих бактерий на посевах яровой пшеницы в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы подвижным фосфором. Исследования проведены в стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой связносупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком (КСУП «Стреличево» Хойникского района Гомельской области). В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы подвижными формами фосфора, в период исследований (2002, 2004 гг.) содержание подвижного фосфора (P_2O_5) составило: 200, 400, 600, 800 мг/кг. На каждом уровне насыщения подвижным фосфором изучены следующие варианты удобрения в четырех повторениях: $N_{60}K_{90}$ и $N_{60}P_{30}K_{90}$.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,2, содержание гумуса – 2,0 %. Содержание подвижного калия – 194 мг/кг, обменных форм CaO и MgO – 1207 и 435 мг/кг почвы соответственно.

Минеральные удобрения вносили в формах аммиачной селитры, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия. Для бактеризации посевов яровой пшеницы сорта Банти использовали торфяной препарат (10^8 – 10^9 КОЕ/г), который вносили в виде водной суспензии в фазе всходы – начало кущения (из расчета на 1 га: 1 кг Калипланта + 150-200 л воды).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лабораторные эксперименты по изучению действия фосфатмобилизующих бактерий на проростки пшеницы. В лабораторном эксперименте было показано, что проростки пшеницы, инокулированные фосфатмобилизующими бактериями, отличались более развитой корневой системой, большей опушенностью корневыми волосками, что свидетельствует об улучшении развития зоны всасывания. У инокулированных проростков корешки утолщены, более развит колеоптиль по сравнению с вариантами без инокуляции. Фотографии 7-суточных проростков представлены на рис. 1-2.

Эксперимент показал, что за счет стимуляции развития корней фосфатмобилизующие бактерии повышают адаптивные возможности инокулированных растений. Стимуляция развития корневой системы на ранних стадиях развития растений способствует улучшению минерального и водного питания, определяя положительное влияние бактеризации на урожай.

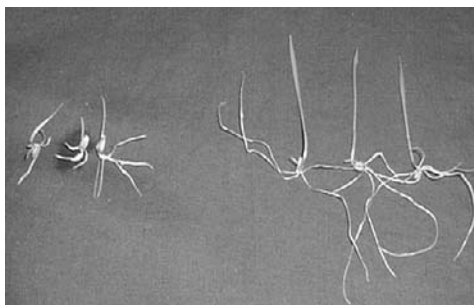


Рис. 1. Влияние изолята Р-7 на развитие проростков пшеницы

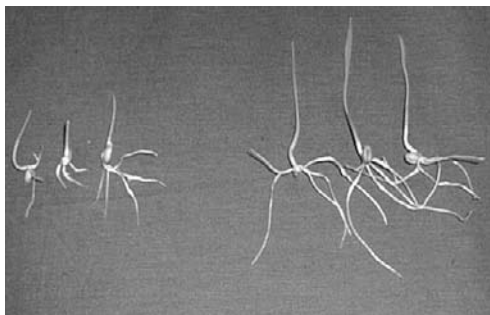


Рис. 2. Влияние изолята Р-28 на развитие проростков пшеницы

Лабораторные эксперименты по количественной оценке фосфатмобилизующей активности бактерий в жидких культурах. В исследованиях, проведенных нами ранее [17], была установлена потенциальная способность ряда изолятов фосфатмобилизующих бактерий к растворению ортофосфата кальция, которую определяли по времени появления и величине зон просветления питательной среды с $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, что позволило получить качественные характеристики активности. В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по количественной оценке фосфатмобилизующей активности ризобактерий с использованием современной методики культивирования в жидкой среде, содержащей ортофосфат кальция [7, 16]. В ходе экспериментов поддерживали оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий (термостатирование при 28°C в течение 7 суток), что позволило получить характеристики потенциальной активности мобилизации фосфора из трикальцийфосфата.

Установлено, что активность фосфатмобилизации коллекционных штаммов варьировала в достаточно широких пределах 65-620 мг/л фосфора (табл. 1). Наиболее высокая потенциальная способность к фосфатмобилизации, на уровне 500-600 мг/л фосфора, отмечена у двух изолятов – Р-25 (620 мг/л фосфора) и Р-12 (505 мг/л фосфора). Высокий уровень активности, превышающий 300 мг/мл фосфора, отмечен у изолятов Р-2 (370 мг/л фосфора) и Р-15 (406 мг/л фосфора). Изоляты Р-16 (257 мг/л фосфора) и Р-10 (288 мг/л фосфора) характеризовались средним уровнем активности, превышающим 200 мг/мл фосфора. Далее в убывающем порядке – изоляты Р-48, Р-61 и Р-91, проявляющие активность выше 100 мг/л фосфора. Активность остальных исследованных изолятов была ниже 100 мг/л фосфора (табл. 1).

В большинстве случаев высокая активность мобилизации фосфора была связана со значительным снижением величины рН среды, что свидетельствует об образовании кислых метаболитов, способных к растворению $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Для изолятов, характеризующихся высокой активностью фосфатмобилизации, отмечено и наиболее значительное подкисление среды: для изолята Р-25 – до 3,13, для изолятов Р-12 и Р-15 – до 3,94 и 4,23 соответственно (табл. 1).

Отмечено, что при культивировании изолята Р-16, характеризующегося средним уровнем активности, рН среды снизился максимально – до 2,67. В то же время для изолята Р-91, который по активности сравним с Р-61, не отмечено подкисления среды в процессе эксперимента (табл. 1). Наблюдаемые различия могут указывать на наличие других специфических механизмов фосфатмобилизации у ризобактерий разной таксономической принадлежности.

Таблица 1

**Фосфатмобилизующая активность ризобактерий
(лабораторный эксперимент, 2011 г.)**

| Изолят | Содержание фосфора, мг/л | рН среды |
|-------------------|--------------------------|----------|
| Р-1 | 72 | 3,79 |
| Р-2 | 370 | 3,75 |
| Р-7 | 93 | 5,78 |
| Р-10 | 288 | 4,00 |
| Р-12 | 505 | 3,94 |
| Р-15 | 406 | 4,23 |
| Р-16 | 257 | 2,67 |
| Р-21 | 65 | 4,90 |
| Р-25 | 620 | 3,13 |
| Р-28 | 67 | 5,66 |
| Р-48 | 108 | 5,20 |
| Р-61 | 177 | 3,68 |
| Р-91 | 152 | 6,52 |
| НСР ₀₅ | 22 | |

Механизмы процессов растворения фосфатов под влиянием микроорганизмов остаются дискуссионными до настоящего времени. Большинство исследователей связывает этот процесс со способностью микроорганизмов продуцировать кислые метаболиты [3, 4, 8, 9, 12, 13]. Однако известно, что обычные аммонифицирующие бактерии активно переводят фосфор в раствор и при этом не подкисляют, а подщелачивают питательные среды [4, 5]. Анализ литературных данных позволяет предполагать разные биохимические пути фосфатмобилизации, так как при близких показателях интенсивности мобилизации фосфатов существенно различается рН среды [19].

К настоящему времени факт увеличения подвижности минеральных фосфатов под влиянием микроорганизмов не вызывает сомнения. Многие микроорганизмы способны растворять минеральные фосфаты, в том числе бактерии [5, 10, 12-15] и микоризные грибы [11]. Подкисление питательной среды не является обязательным условием для растворения трехкальциевого фосфата. Повышение раствори-

2. Плодородие почв и применение удобрений

мости минеральных фосфатов может быть связано как с увеличением кислотности среды, так и с биологическим поглощением и последующей минерализацией бактериальной плазмы с выделением фосфора в усвояемой форме.

Таким образом, эксперимент позволил определить наиболее активные по способности к фосфатмобилизации изоляты ризосферных бактерий, которые целесообразно испытать в полевых опытах в качестве действующей основы бактериальных удобрений.

Для оценки влияния фосфатмобилизирующих бактерий на урожайность яровой пшеницы проведены полевые эксперименты на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным фосфором. Изучена эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале Вольтарио в зависимости от уровня обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы фосфором и доз фосфорных удобрений.

На первом уровне обеспеченности почвы P_2O_5 (207 мг/кг) достоверные прибавки от применения фосфатмобилизирующих бактерий получены на фонах НК, НКР₁₀ (табл. 2). Наиболее высокая прибавка от бактериализации, 3,3 ц/га зерна, отмечена на фоне НК при содержании подвижного фосфора в почве 207 мг/кг. При внесении P_{10} на фонах НК прибавка от бактериализации снижалась и составила 3,0 ц/га зерна. Наиболее высокая урожайность озимого тритикале, 52,6 ц/га, получена при внесении НКР₆₀, но в этих условиях применение фосфатмобилизирующих бактерий не оказывало влияния на урожайность возделываемой культуры (табл. 2). При содержании в почве 207 мг/кг P_2O_5 наиболее обосновано применение фосфатмобилизирующих бактерий на фонах НК и НКР₁₀, так как это обеспечивает урожайность 46,5-48,0 ц/га зерна озимого тритикале и достоверные прибавки урожайности 3,0-3,3 ц/га.

На втором уровне обеспеченности почвы P_2O_5 (244 мг/кг) статистически достоверная прибавка от бактериализации посевов, 2,3 ц/га зерна, получена на фоне НК (табл. 2). При внесении P_{10} - P_{60} прибавки от бактериализации снижались и были не достоверны.

На третьем и четвертом уровнях обеспеченности почвы P_2O_5 (286-394 мг/кг) прибавки от внесения фосфатмобилизирующих бактерий не достоверны (табл. 2).

Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах яровой пшеницы в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы подвижным фосфором. Стационарный полевой опыт проводили на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком (КСУП «Стреличево» Хойникский р-н Гомельская обл.). На посевах яровой пшеницы сорта Банти изучена эффективность фосфатмобилизирующих бактерий в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы фосфором и дозы фосфорных удобрений.

Установлена зависимость урожайности яровой пшеницы от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой связносупесчаной почве. В диапазоне обеспеченности почвы 200, 400 и 600 мг P_2O_5 /кг отмечено повышение урожайности зерна от первого к третьему уровню насыщения – на фонах $N_{60}K_{90}$ урожайность составила 28,1, 33,2 и 36,8 ц/га соответственно (табл. 3). При дальнейшем повышении содер-

жания подвижного фосфора в почве до 800 мг P_2O_5 /кг отмечено снижение урожайности зерна, связанное с нарушением баланса элементов питания.

Таблица 2

Влияние фосфатмобилизирующих бактерий на урожайность озимого тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы фосфором (СПК «Хотляны», 2009 г.)

| Вариант | Урожайность, ц/га | | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | НК | НКР ₁₀ | НКР ₃₀ | НКР ₆₀ |
| 1-й уровень, 207 мг/кг P_2O_5 | | | | |
| Контроль | 43,2 | 45,0 | 48,7 | 51,8 |
| Бактеризация | 46,5 | 48,0 | 50,0 | 52,6 |
| Прибавка | 3,3 | 3,0 | 1,3 | 0,8 |
| 2-й уровень, 244 мг/кг P_2O_5 | | | | |
| Контроль | 52,6 | 55,3 | 55,7 | 57,9 |
| Бактеризация | 54,9 | 56,8 | 56,7 | 58,0 |
| Прибавка | 2,3 | 1,5 | 1,0 | 0,1 |
| 3-й уровень, 286 мг/кг P_2O_5 | | | | |
| Контроль | 51,4 | 51,7 | 53,4 | 55,7 |
| Бактеризация | 53,2 | 52,7 | 54,0 | 55,5 |
| Прибавка | 1,8 | 1,0 | 0,6 | -0,2 |
| 4-й уровень, 394 мг/кг P_2O_5 | | | | |
| Контроль | 51,0 | 50,2 | 53,8 | 53,1 |
| Бактеризация | 51,9 | 50,9 | 53,3 | 51,9 |
| Прибавка | 0,9 | 0,7 | -0,5 | -1,2 |
| Фактор А (P_2O_5) | 2,9 | | | |
| Фактор В (бакт.) | 2,1 | | | |

Дозы НК-удобрений – $N_{120}K_{90}$.

Внесение фосфатмобилизирующих бактерий на фонах $N_{60}K_{90}$ позволило получить достоверные прибавки урожайности на первом (200 мг/кг) и втором (400 мг/кг) уровнях обеспеченности почвы фосфором – 4,7 и 4,3 ц/га зерна соответственно. Отмечена также тенденция повышения содержания фосфора в зерне, что свидетельствует о повышении доступности почвенных фосфатов для растений. При насыщении почвы подвижным фосфором до 600 мг/кг эффект от бактериализации яровой пшеницы снижался, прибавка зерна составляла 1,5 ц/га (табл. 3). Внесение фосфатмобилизирующих бактерий при очень высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами (800 мг P_2O_5 /кг) было не эффективно.

Схема опыта включала варианты с внесением фосфорных удобрений (P_{30}) на фонах $N_{60}K_{90}$. На этих вариантах отмечена тенденция повышения урожайности яровой пшеницы на трех уровнях обеспеченности фосфором – 200, 400 и 600 мг/кг почвы, урожайность зерна составила 29,8, 35,4 и 38,9 ц/га по сравнению с 28,1, 33,2 и 36,8 ц/га на фонах $N_{60}K_{90}$ соответственно (табл. 3). Повышение содержания P_2O_5 до 800 мг/кг не приводило к росту урожайности. Применение фосфатмобилизирующих бактерий было эффективным только на первом (200 мг/кг) уровне обес-

2. Плодородие почв и применение удобрений

печенности почвы подвижными фосфатами, прибавка от бактеризации составила в среднем 3,6 ц/га зерна, на втором и третьем уровнях – отмечена тенденция повышения урожайности (табл. 3).

Таким образом, установлена эффективность применения фосфатмобилизующих бактерий на посевах яровой пшеницы в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой связносупесчаной почве. Наиболее эффективно внесение фосфатмобилизующих бактерий на фонах $N_{60}K_{90}$ при обеспеченности почвы подвижными фосфатами в диапазоне 200-400 мг/кг, прибавки зерна на уровне 4,3-4,7 ц/га. Применение фосфатмобилизующих бактерий на фонах $N_{60}P_{30}K_{90}$ эффективно только при содержании 200 мг/кг подвижного фосфора в почве, прибавка зерна на уровне 3,6 ц/га. Внесение фосфатмобилизующих бактерий при высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами нецелесообразно.

Таблица 3

Влияние фосфатмобилизующих бактерий на урожайность яровой пшеницы при разной обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы подвижным фосфором (КСУП «Стреличево», в среднем за 2002, 2004 гг.)

| Вариант | Урожайность, ц/га | |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|
| | $N_{60}K_{90}$ | $N_{60}P_{30}K_{90}$ |
| 1-й уровень, 200 мг/кг P_2O_5 | | |
| Контроль | 28,1 | 29,8 |
| Бактеризация | 32,8 | 33,4 |
| Прибавка | 4,7 | 3,6 |
| 2-й уровень, 400 мг/кг P_2O_5 | | |
| Контроль | 33,2 | 35,4 |
| Бактеризация | 37,5 | 36,4 |
| Прибавка | 4,3 | 1,0 |
| 3-й уровень, 600 мг/кг P_2O_5 | | |
| Контроль | 36,8 | 38,9 |
| Бактеризация | 38,3 | 37,2 |
| Прибавка | 1,5 | 1,7 |
| Фактор А (P_2O_5) | 3,56 | |
| Фактор в (бакт.) | | |

ВЫВОДЫ

Изучены свойства фосфатмобилизующих бактерий, установлена их способность стимулировать рост корневой системы и переводить в доступную для растений форму нерастворимый трикальцийфосфат $Ca_3(PO_4)_2$. Способность к фосфатмобилизации и стимуляции роста корневой системы определяет положительное влияние внесения фосфатмобилизующих бактерий на режим питания и урожайность сельскохозяйственных культур. Применение бактерий может способствовать устранению дефицита фосфора в критический период питания, в начале вегетации растений.

Установлена взаимосвязь эффективности фосфатмобилизующих бактерий с содержанием подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых рыхло- и связно-

супесчаных почвах. При обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы P_2O_5 на уровне 207 мг/кг наиболее обосновано применение фосфатмобилизующих бактерий на фонах $N_{120}K_{90}$ и $N_{120}K_{90}P_{10}$, что позволяет получить урожайность зерна озимой тритикале 46,5-48,0 ц/га и достоверные прибавки от бактеризации 3,0-3,3 ц/га; при повышении содержания P_2O_5 в почве до 244 мг/кг достоверная прибавка от бактеризации посевов, 2,3 ц/га зерна, получена только на фоне $N_{120}K_{90}$; при содержании P_2O_5 в пределах 286-394 мг/кг прибавки от фосфатмобилизующих бактерий не достоверны. На дерново-подзолистой связносупесчаной почве применение фосфатмобилизующих бактерий наиболее эффективно на фонах $N_{60}K_{90}$ при обеспеченности почвы подвижными фосфатами в диапазоне 200-400 мг/кг, прибавки зерна на уровне 4,3-4,7 ц/га, а на фонах $N_{60}P_{30}K_{90}$ эффект от бактеризации отмечается только при содержании 200 мг/кг подвижного фосфора в почве, прибавка зерна на уровне 3,6 ц/га. Внесение фосфатмобилизующих бактерий при высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами нецелесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богдевич, И. М. Фосфорные удобрения в сельском хозяйстве важны и незаменимы / И. М. Богдевич, В. В. Лапа // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – №2. – С. 24-25.
2. Синягин, И. И. Превращения фосфорных и калийных удобрений в почве и повышение их усвояемости / И. И. Синягин. – М.: МСХ СССР, ВНИИТИ. – 1969. – С. 6-24.
3. Илялетдинов, А. Н. Биологическая мобилизация минеральных соединений / А. Н. Илялетдинов. – Алма-Ата: Наука, 1966. – С. 63-73.
4. Геллер, И. Т. Мобилизация нерастворимых минеральных соединений почвенными микроорганизмами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / И. Т. Геллер; ТСХА. – М., 1971. – 17с.
5. Goldstein, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: Historical perspective and future prospects / A. H. Goldstein // Am. J. Alternative Agric. – 1986. – №1. – P. 51-57.
6. Mikanova, O. Evaluation of the P-solubilizing activity of soil microorganisms and its sensitivity to soluble phosphate / O. Mikanova, J. Novakova // Rostl. Vyr. – 2002. – №48. – P. 397-400.
7. Mikanova, O. Uvolnovani fosforu z tezko rozpustnych sloucenin pudni mikroflorou / O. Mikanova, J. Kubat // Rostlinna vyroba. – 1994. – T. 40. – Vol. 9. – P. 833-840.
8. Mikanová, O. Phosphorus Solubilizing Microorganisms and their Role in Plant Growth Promotion / O. Mikanová, J. Kubát // Microbial Biotechnology in Agriculture and Aquaculture (ISBN: 1-57808-443-1) / Science Publishers; eds. R. C. Ray. – New Hampshire, USA, 2006. – Vol. II. – P. 111-145.
9. Mikanová, O. Practical Use of Phosphate Solubilizing Soil Microorganisms / O. Mikanová, J. Kubát // Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement (ISBN: 978-1-60876-112-8). / Nova Science Publishers; eds. M. S. Khan, A. Zaidi. – USA, 2009. – P. 129-143.
10. Gaur, A. C. Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizers / A. C. Gaur. – New Delhi: Omega Sci. Publishers, 1990. – 283 p.
11. Khurana, A. L. Role of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in sustainable agriculture / A. L. Khurana, S. S. Dudeja // Proc. Seminar on National Resource Management. – 1995. – P. 37-45.

12. Halder, A. K. Solubilization of inorganic phosphates by Bradyrhizobium / A. K. Halder, A. K. Mishra, P. K. Chakrabartty // *Ind. J. Exp. Biol.* – 1991. – №29 – P. 28-31.
13. Halder, A. K. Solubilization of inorganic phosphate by Rhizobium. / A. K. Halder, P. K. Chakrabartty // *Folia Microbiol.* – 1993. – №38. – P. 325-330.
14. Schopnost kmenu Rhizobium leguminosarum zpřístupnovat fosfor / O. Mikanova [et al.] // *Rostlinna výroba.* – 1995. – T. 41. – S. 423-425.
15. Mikanova, O. The role of P-solubilizing activity of Rhizobium and Bradyrhizobium japonicum strains in the phosphorus nutrition of soybean / O. Mikanova, J. Kubat // *International Conference on sustainable crop production in fragile environments.* – New Delhi, 1996. – P. 86.
16. Murphy, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters / J. P. Murphy, J. P. Riley // *Anal. Chem. Acta.* – 1962. – Vol. 27. – P. 31-36.
17. Изучение способности штамма *Azospirillum brasilense* к мобилизации ортофосфатов кальция / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвенные исследования и применение удобрений.* – 2003. – Вып. 27. – С. 325-332.
18. Алешин, Е. П. Физиология растений / Е. П. Алешин, А. А. Пономарев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 153 с.
19. Novel approaches for analysis of biodiversity of phosphate-solubilizing bacteria / M.-H. Ramirez-Bahena [et al.] // *Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement / Nova Science Publishers; eds. M. S. Khan, A. Zaidi.* – 2009. – P. 15-40.

PROPERTIES OF PHOSPHORUS-MOBILIZING BACTERIA AND THEIR EFFECT ON CEREAL CROP YIELDS ON LUVISOL LOAMY SAND SOILS

**N. A. Mikhailouskaya, O. Mikanova, T. B. Barashenko,
E. G. Tarasiuk, S. V. Duysova**

Summary

Some properties of P-mobilizing bacteria were investigated. P-mobilizing bacteria capabilities of transfer the insoluble $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ into accessible form and stimulation of root development determine their positive effect on nutrition regime and crop yields. The efficiency of P-mobilizing bacteria introduction was found to depend on the content of mobile of phosphorus in soil.

Under Luvisol loamy sand (coarse) soil supply by P_2O_5 207 mg/kg^{-1} most effective was introduction of P-mobilizing bacteria at the backgrounds of $\text{N}_{120}\text{K}_{90}$ and $\text{N}_{120}\text{K}_{90}\text{P}_{10}$ that provided winter triticale yields 46.5-48.0 c/ha^{-1} and reliable responses to inoculation 3.0-3.3 c/ha^{-1} ; under soil supply by P_2O_5 244 mg/kg^{-1} grain response 2.3 c/ha^{-1} was obtained only at background of $\text{N}_{120}\text{K}_{90}$; in a range of soil supply by P_2O_5 286-394 mg kg^{-1} grain responses was not statistically sound.

Application of P-mobilizing bacteria on Luvisol loamy sand (bind) soil was most effective if mobile phosphates contents were in diapason of 200-400 mg kg^{-1} at the backgrounds of $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$ that resulted in spring wheat responses 4.3-4.7 c/ha^{-1} ; at the backgrounds of $\text{N}_{60}\text{P}_{30}\text{K}_{90}$ grain response 3.6 c/ha^{-1} was obtained only if P_2O_5 content in soil not exceed 200 mg/kg^{-1} . Under high soil supply by mobile phosphates the introduction of P-mobilizing bacteria is not profitable.

Поступила 1 сентября 2011 г.

ВЫНОС РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}CS И ^{90}SR ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ РАЗЛИЧНЫМИ СОРТАМИ ОВСА

О. М. Таврыкина, В. А. Довнар

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее тяжелых последствий катастрофы на ЧАЭС является ведение агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения в течение длительного периода времени. Потребление сельскохозяйственной продукции с содержанием радиоактивных веществ населением, проживающим на радиоактивно загрязненных территориях, все еще остается одним из основных источников облучения. На всех этапах поставарийного периода вклад внутреннего облучения населения за счет потребления загрязненных пищевых продуктов составлял 50 % и более от суммарной годовой дозы. Важность снижения доз внутреннего облучения населения заключается еще и в том, что оно достигается существенно меньшими экономическими затратами, чем уменьшение доз внешнего облучения. Вследствие этого реабилитация сельскохозяйственных земель рассматривается как один из главных элементов общей реабилитации загрязненных территорий, включающей медицинские, социально-демографические, экономические и другие направления деятельности, обеспечивающие радиационную безопасность населения. С 2001 года в Беларуси защитные меры направлены на социально-экономическую реабилитацию населения.

Эффективность контрмер в сельском хозяйстве определяется уровнем и характером загрязнения (например, снизить поглощение цезия легче, чем стронция), а так же зависит от системности применяемых подобных мер. При снижении влияния экологических ограничений на экономическое развитие, эффективным можно считать только те контрмеры, которые позволяют производить продукцию по конкурентным ценам. К сожалению, многие контрмеры требуют значительных субсидий, без которых конечная продукция оказывается слишком дорогой для продажи.

С момента аварии и до настоящего времени ведется обширная научно-исследовательская деятельность, в результате которой накоплен значительный практический опыт применения различных контрмер [1, 2, 4, 15]. Однако большинство таких работ невозможно реализовать без применения дополнительных затрат. При оценке их экономической эффективности, а также при внедрении и разработке новых мер приоритетным, наряду с уменьшением коллективной и индивидуальной доз внутреннего облучения населения, все же необходимо считать их стоимость и снижение уровня государственных субсидий.

В предлагаемых нами исследованиях сорта овса рассмотрены как беззатратный способ снижения радионуклидов, так как стоимость посевного материала не зависит от сорта, поэтому выбор того или иного районированного в республике

сорта с низкими параметрами накопления радионуклидов позволит получить чистую продукцию без лишних капиталовложений. Выбор этой культуры определен еще и тем, что овес способен накапливать радионуклидов больше, чем другие зерновые культуры, и посев овса на продовольственные цели на почвах, загрязненных ^{90}Sr , сильно ограничен [4]. Предельная плотность загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв ^{90}Sr для получения нормативно чистого продовольственного зерна для большинства зерновых культур лимитируется пределом 7,4-14,8 кБк/м² (0,2-0,4 Ки/км²), в то время как посев овса на продовольственные цели на почвах, загрязненных ^{90}Sr более 6,0-7,0 кБк/м² (более 0,15 Ки/км²) не рекомендуется. На хорошо окультуренных дерново-подзолистых суглинистых, дерново-подзолистых связно- и рыхлосупесчаных почвах продовольственные зерновые культуры в том числе и овес можно возделывать без ограничений при плотности загрязнения ^{137}Cs до 1480 кБк/м² (40 Ки/км²) [4].

Посевные площади овса стабильно высокие и за последние четыре года составили 155,2-221,5 тыс. га в целом по республике и, в частности, в Гомельской области 33,5-57,7 тыс. га. Объем посевных площадей овса составляет 7,2-9,5 % от всех возделываемых в республике зерновых колосовых культур, в Гомельской области доля его посевов больше общереспубликанского значения и составляет 11,1-16,6 %. Эти площади способны обеспечить валовой сбор зерна овса 413,9-580,0 тыс. тонн в республике с урожайностью 24,6-33,6 ц/га [11].

Сортовая специфика в радиочувствительности растений, а также в различной способности накапливать радионуклиды выявлена рядом исследователей [3, 6-9, 14]. На накопление радионуклидов разными сортами растений влияют такие биологические особенности растений как разная продолжительность вегетационного периода, характер распределения корневых систем в почве, различия в продуктивности и т. д. Е. Г. Смирновым [13] было установлено, что на способность к накоплению радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr влияет наличие у растений объемных и длительно существующих органов, запасующих биомассу, строение их корневой системы и совокупность приспособлений к водному и солевому режиму почв. По мнению Б. С. Пристера и др. (1991), важная роль в различном накоплении радионуклидов сортами растений принадлежит особенностям корневой системы: размещение корней в почве, глубина их залегания, особенности активной всасывающей части, катионно-обменная емкость. Чем с большей глубины растения получают минеральные вещества, тем меньше накапливают радионуклидов. Теоретической основой создания сортов, обеспечивающих получение относительно чистой продукции на загрязненных территориях, служит генетика минерального питания [5, 10].

В связи со всем вышеизложенным, целью нашего исследования явилась оценка наиболее распространенных районированных сортов овса по продуктивности, размерам накопления и выноса ^{137}Cs , ^{90}Sr для выбора эффективных сортов, способствующих снижению внутренних доз облучения населения.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению параметров накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr зерном и соломой овса проводили в полевых условиях в регионе, непосредственно пострадавшем от выброса на ЧАЭС – в КСУП «Стреличево» Хойникского

района Гомельской области. Опыты закладывались в период 2003–2005 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка: $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ – 5,95, подвижные формы фосфора P_2O_5 (0,2n HCl, по Кирсанову) – 197 мг/кг и K_2O (0,2n HCl, по Кирсанову) – 288 мг/кг почвы, обменные формы кальция (Ca) (1 M KCl, по Мазеевой, Неугодовой) – 542–650 мг/кг и Mg – 94–176 мг/кг почвы, содержание гумуса (0,2n $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, по Тюрину) – 1,9 %. Плотность загрязнения почвы радионуклидом ^{137}Cs – 320 кБк/м², ^{90}Sr – 30 кБк/м². Предшественник – клевер луговой.

Объектами исследований служили районированные и перспективные сорта овса:

- ▶ Стралец (Беларусь, Польша);
- ▶ Дукат (Польша);
- ▶ Чакал (Польша);
- ▶ Эрбграф (Германия);
- ▶ Альф (Германия).

Посевные площади исследуемых сортов овса по данным Комитета по сортоиспытанию [12] в среднем в 2003–2004 гг. распределились следующим образом (в % от общей площади): сорта Эрбграф – 31,4 %, Альф – 18,2 %, Стралец – 14,9 %, Дукат – 3,4 %, Чакал – 0,1 %. Сорта овса Альф, Эрбграф и Чакал вошли в список наиболее ценных по качеству сортов зерновых культур в Республике Беларусь. Созданная система продовольственного и кормового использования овса позволяет отнести сорта Альф и Чакал к продовольственным, Стралец и Дукат – кормовым.

Агротехника на опытном поле общепринятая для данной зоны. Минеральные удобрения в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ вносили под все культуры в предпосевную культивацию в форме карбамида, аммонизированного суперфосфата, хлористого калия. Повторность в опытах четырехкратная. Учетная площадь делянки 1,5 м².

Удельную активность ^{90}Sr оценивали по дочернему продукту распада ^{90}Y после проведения радиохимической очистки от мешающих анализу радионуклидов с последующим измерением на β -радиометре «Прогресс БГ» с пластиковым детектором. Выход носителя иттрия определяли гравиметрическим методом, выход носителя стронция – на атомно-абсорбционном спектрометре. Относительная погрешность измерения составила не более $\pm 15\%$ при доверительной вероятности 0,95.

Урожайность зерна овса дана в переводе на стандартную влажность – 14 %. Сравнение проводилось по отношению к стандартному сорту Стралец, являющемуся по результатам сортоиспытательных станций наиболее продуктивным, то есть эталоном, рекомендованным для возделывания. Удельная активность продукции, использующаяся при расчете суммарного выноса радионуклидов, рассчитана при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 370 кБк/м², ^{90}Sr – 37 кБк/м². Вынос радионуклидов рассчитывали как произведение удельной активности на урожайность с единицы площади (кБк/га). С радиологической точки зрения применение этого параметра целесообразно для расчетов коллективных доз облучения населения за счет потребления радионуклидсодержащих пищевых продуктов, его использование позволит более полно оценить выбор того или иного сорта на загрязненных территориях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что сорта овса достоверно отличались по накоплению радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr (табл. 1). Наименьшая удельная активность ^{137}Cs в зерне овса, равная 17-18 Бк/кг, оказалась у сортов Чакал и Альф, кратность снижения по сравнению со стандартным сортом составила 1,1-1,2 раза. Содержание ^{137}Cs у сортов Дукат и Эрбграф было наибольшим – 23 Бк/кг.

Таблица 1

Урожайность, удельная активность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне и соломе сортов овса (плотность загрязнения почвы ^{137}Cs 370 кБк/м², ^{90}Sr 37 кБк/м²)

| Сорт | Урожайность, т/га | ^{137}Cs | | ^{90}Sr | |
|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | | Удельная активность, Бк/кг | Кратность снижения | Удельная активность, Бк/кг | Кратность снижения |
| зерно | | | | | |
| Стралец (ст.) | 4,94 | 20 | 1,0 | 64,9 | 1,0 |
| Дукат | 5,13 | 23 | 0,9 | 43,9 | 1,5 |
| Эрбграф | 6,03 | 23 | 0,9 | 47,4 | 1,4 |
| Альф | 6,09 | 18 | 1,1 | 45,9 | 1,4 |
| Чакал | 5,58 | 17 | 1,2 | 58,4 | 1,1 |
| НСР ₀₅ | 2,43 | 0,9 | | 1,71 | |
| солома | | | | | |
| Стралец (ст.) | 4,93 | 69 | 1,0 | 443 | 1,0 |
| Дукат | 4,91 | 69 | 1,0 | 365 | 1,2 |
| Эрбграф | 5,82 | 62 | 1,1 | 375 | 1,2 |
| Альф | 6,13 | 64 | 1,1 | 365 | 1,2 |
| Чакал | 5,83 | 61 | 1,2 | 462 | 1,0 |
| НСР ₀₅ | 3,51 | 2,8 | | 13,12 | |

Аккумуляция радионуклида ^{90}Sr зерном овса оказалась намного выше, чем ^{137}Cs , при этом была выявлена существенная разница в накоплении исследуемыми сортами ^{90}Sr , достигающая 1,4-1,5 раза. Стандартный сорт Стралец отличился наибольшим накоплением радиостронция, сорта Дукат и Альф содержали минимальное его количество – 43,9-45,9 Бк/кг (табл. 1).

В побочной продукции содержание радионуклидов ^{137}Cs в 3-4 раза и ^{90}Sr в 6-11 раз превышало таковое в зерне. Это подтверждает известное правило о том, что при корневом поглощении радионуклидов накопление их напрямую зависит от удаленности того или иного органа растения от почвы, то есть чем выше находится орган, тем меньше в нем содержится радионуклидов. Удельная активность ^{137}Cs в соломе овса изменялась в зависимости от сорта от 61 (Чакал) до 69 Бк/кг (Стралец (ст.) и Дукат), удельная активность ^{90}Sr составила от 365 (Дукат и Альф) до 462 Бк/кг (Чакал). Сорта Дукат и Альф характеризовались наименьшим накоплением ^{90}Sr как в основной, так и в побочной продукции, что дает право отнести их к низкоаккумулирующим ^{90}Sr сортам. Кроме этого, сорт Альф обеспечил наибольшую продуктивность зерна – 6,09 т/га и соломы – 6,13 т/га. Урожайность

зерна сортов Дукат и Чакал по результатам трехлетних исследований была также достаточно высокой – 5,13 и 5,58 т/га соответственно.

Учитывая то, что на продовольственные цели пригодно зерно с содержанием ^{90}Sr , не превышающим 11 Бк/кг и ^{137}Cs не более 90 Бк/кг, а в условиях нашего эксперимента овес может быть использован только на фураж для производства цельного молока, представляется целесообразным выявить те земли, где данная культура может возделываться на продовольственные нужды.

Так как коэффициенты накопления ^{137}Cs у овса выше, чем у пшеницы, существуют ограничения по возделыванию сортов на продовольственные цели. Так, сорта Дукат и Эрбграф можно выращивать при максимальной плотности загрязнения ^{137}Cs 1452 кБк/м², остальные сорта можно возделывать без ограничений (рис. 1).

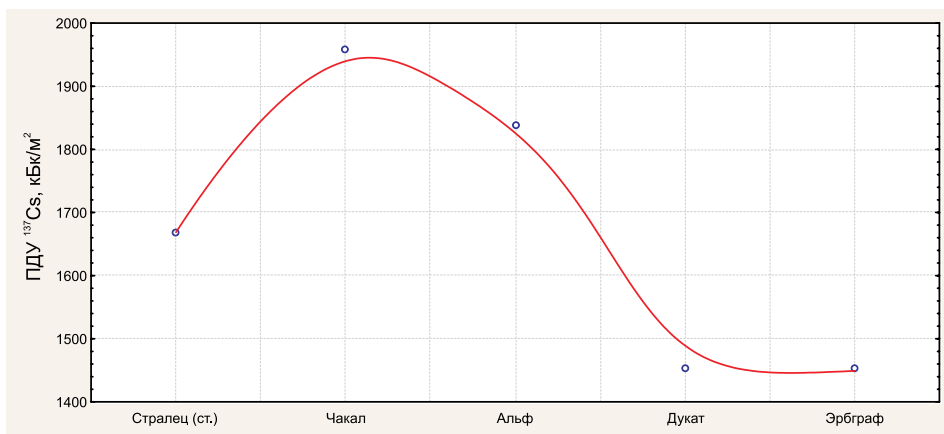


Рис. 1. Предельно-допустимые уровни загрязнения почв ^{137}Cs для получения продовольственного зерна овса

По ^{90}Sr на продовольственные цели все исследуемые сорта овса можно выращивать при плотности загрязнения почвы, не превышающей 6,3-9,2 кБк/м² (рис. 2). Сорта Дукат, Эрбграф и Альф можно выращивать при плотности загрязнения почвы ^{90}Sr в 1,4-1,5 раза более высокой, чем стандартный сорт Стралец.

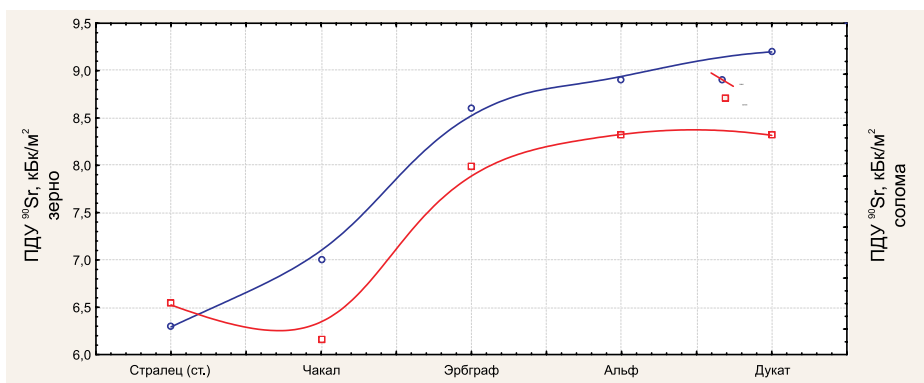


Рис. 2. Предельно-допустимые уровни загрязнения почв ^{90}Sr для получения продовольственного зерна овса и соломы в качестве корма животным

2. Плодородие почв и применение удобрений

На фуражные цели солому сортов овса можно получить на почвах с плотностью загрязнения ^{90}Sr не выше 14,8-18,8 кБк/м².

Известно, что радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr располагаются в корнеобитаемом слое растений и в силу своих биологических особенностей практически все растения в большей или меньшей мере извлекают (экстрагируют) радионуклиды из почв и накапливают в своих тканях. Если такие растения в дальнейшем используются для корма скота, для производства продуктов питания или если они непосредственно используются для питания человека, то это приводит к увеличению дозовой нагрузки на организм человека вследствие внутреннего облучения. Поэтому стратегия реабилитации территорий с радиоактивным загрязнением почв решает задачу уменьшения выноса радионуклидов из почв. По нашему мнению, сорта овса можно также использовать как контрмеру по снижению коллективной дозы облучения человека, поскольку они существенно отличались по выносу радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr (табл. 2).

По результатам нашего эксперимента наименьшим выносом ^{137}Cs с зерном характеризовался сорт Чакал – 95 кБк/га, его использование позволит снизить дозовую нагрузку в 1,5 раза по сравнению с сортом Эрбграф, вынос которого был наибольшим. Вынос стандартного сорта Стралец был также невысоким – 99 кБк/га. Вынос ^{137}Cs с соломой составил для сортов 339-392 кБк/га. Наименьший вынос радионуклида с побочной продукцией обеспечили сорта Стралец и Дукат. По суммарному выносу сорта расположились в ряд по убыванию: Альф, Эрбграф, Дукат, Чакал, Стралец.

Таблица 2

**Вынос радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr сортами овса
(плотность загрязнения почвы ^{137}Cs 370 кБк/м², ^{90}Sr 37 кБк/м²)**

| Сорт | Солома | | Зерно | | Суммарный вынос | Кратность снижения |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | Вынос, кБк/га | Кратность снижения | Вынос, кБк/га | Кратность снижения | | |
| ^{137}Cs | | | | | | |
| Стралец (ст.) | 99 | 1,0 | 340 | 1,0 | 439 | 1,0 |
| Дукат | 118 | 0,8 | 339 | 1,0 | 457 | 1,0 |
| Эрбграф | 139 | 0,7 | 361 | 0,9 | 500 | 0,9 |
| Альф | 110 | 0,9 | 392 | 0,9 | 502 | 0,9 |
| Чакал | 95 | 1,0 | 356 | 1,0 | 451 | 1,0 |
| ^{90}Sr | | | | | | |
| Стралец (ст.) | 321 | 1,0 | 2184 | 1,0 | 2505 | 1,0 |
| Дукат | 225 | 1,4 | 1792 | 1,2 | 2017 | 1,2 |
| Эрбграф | 286 | 1,1 | 2183 | 1,0 | 2469 | 1,0 |
| Альф | 280 | 1,1 | 2237 | 1,0 | 2517 | 1,0 |
| Чакал | 326 | 1,0 | 2693 | 0,8 | 3019 | 0,8 |

Вынос радионуклида ^{90}Sr превышал вынос ^{137}Cs у сортов овса (табл. 2). Сорта овса Дукат и Альф характеризовались наименьшей удельной активностью ^{90}Sr в зерне по сравнению с остальными. Самым низким размером выноса радионуклида, который составил 225 кБк/га, отличился сорт Дукат, вынос радионуклида с зерном у сорта Альф был выше – 280 кБк/га. В целом суммарный вынос сортов

овса был достаточно высок за счет вклада выноса ^{90}Sr с соломой и составил по сортам 2017-3019 кБк/га, а сорта по убыванию показателя расположились в следующем порядке: Чакал, Стралец, Альф, Эрбграф, Дукат.

Поскольку вынос является величиной произведения урожайности и удельной активности, при подходе к объективной оценке сорта по этому показателю необходимо учитывать степень влияния каждого из этих множителей на конечную величину. Так, к примеру, в случае если сорт накапливает небольшое количество радионуклидов, при этом является урожайным, то показатель выноса возрастает за счет вклада урожайности, и этому сорту следует отдать предпочтение перед тем, у которого близкая величина выноса была сформирована за счет высокой удельной активности и низкой урожайности. Сорт с высокой удельной активностью и низкой урожайностью представляет собой наиболее неблагоприятное сочетание. Если сорт сильно аккумулирует радионуклиды и является при этом высокоурожайным, то вынос возрастает за счет обоих множителей, у сорта с низкой и удельной активностью, и урожайностью вынос оказывается невысоким, однако и эффективность производства такого сорта не будет высокой. Случай, если применяется сорт с невысокими параметрами накопления и высокой урожайностью, будет способствовать и минимизации индивидуальной дозы облучения, и эффективному возделыванию сорта.

С учетом вышесказанного, у сорта Стралец соотношение между урожайностью и удельной активностью ^{137}Cs не самое благоприятное, поскольку низкое значение выноса ^{137}Cs формируется в основном за счет низкой урожайности, удельная активность при этом выше, чем у сортов Чакал и Альф (табл. 3). В этом случае следует отдать предпочтение сортам Чакал и Альф, которые характеризовались небольшим выносом, хорошими показателями продуктивности и наименьшей удельной активностью ^{137}Cs в конечной продукции. При оценке сортов по снижению коллективной дозы внутреннего облучения, сформированной за счет радионуклида ^{90}Sr , рекомендовано возделывание сортов Дукат и Альф, поскольку низкий вынос у них образован за счет самой низкой из всех исследуемых сортов удельной активности – 43,9 и 45,9 Бк/кг при высокой продуктивности – 5,13 и 6,09 ц/га соответственно. Таким образом, на дерново-подзолистых окультуренных супесчаных почвах, загрязненных только радионуклидом ^{137}Cs , наиболее предпочтительно возделывание сортов Чакал и Альф с низкой удельной активностью и выносом с хорошими показателями продуктивности, на почвах, загрязненных только ^{90}Sr , по результатам исследования лучшими для возделывания можно считать сорта Дукат и Альф с самой низкой среди сортов удельной активностью ^{90}Sr в зерне и выносом, на почвах, загрязненных обоими радионуклидами, предпочтение следует отдать сорту Альф.

Переход радионуклидов из почвы в растения является результатом действия не только почвенно-химического процесса, но и биологического, связанного с поглощением радионуклидов корневой системой растений из почвенного раствора. Катион радионуклида $^{90}\text{Sr}^{2+}$ абсорбируется растением посредством транспортных систем его макроаналога Ca^{2+} , а поведение $^{137}\text{Cs}^+$ сходно с поглощением его химического аналога K^+ .

В связи с этим нам представлялось интересным определить и проанализировать вынос калия К и кальция Са в сортах овса по отношению к выносу радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , результаты анализа представлены на рис. 3-4.

Таблица 3

**Ранжирование сортов овса в зависимости от продуктивности
и накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне**

| № | Показатель | | |
|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | Урожайность зерна* | Удельная активность | Вынос |
| ^{137}Cs | | | |
| 1. | Альф | Чакал | Чакал |
| 2. | Эрбграф | Альф | Стралец (стандарт) |
| 3. | Чакал | Стралец (стандарт) | Альф |
| 4. | Дукат | Дукат | Дукат |
| 5. | Стралец (стандарт) | Эрбграф | Эрбграф |
| ^{90}Sr | | | |
| | - | Дукат | Дукат |
| | - | Альф | Альф |
| | - | Эрбграф | Эрбграф |
| | - | Чакал | Стралец (стандарт) |
| | - | Стралец (стандарт) | Чакал |

* Урожайность – ранжирование по убыванию, удельная активность и вынос ^{137}Cs и ^{90}Sr – по возрастанию.

Вынос калия с зерном овса составил по сортам 15,2-19,1 кг/га, сорта Альф и Эрбграф характеризовались наибольшим выносом калия, сорт Стралец – наименьшим (рис. 3). В целом, корреляционная связь между выносом радионуклида ^{137}Cs и выносом калия у сортов овса обнаружена слабая.

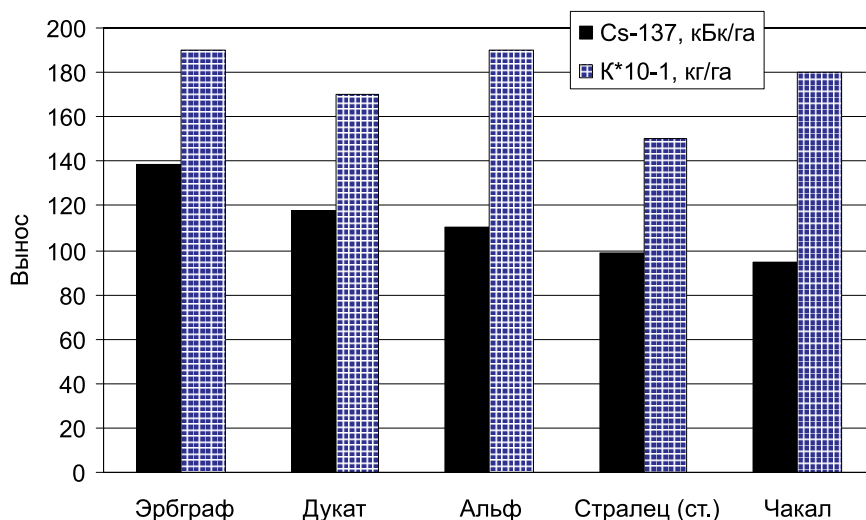


Рис. 3. Вынос радионуклида ^{137}Cs и калия К с зерном сортов овса

Вынос кальция с зерном овса составил в зависимости от сорта 2,6-3,2 кг/га. Сорта овса Чакал и Стралец выносили больше остальных сортов ^{90}Sr и Ca, наименьшим выносом ^{90}Sr и Ca отличились сорта Альф и Дукат.

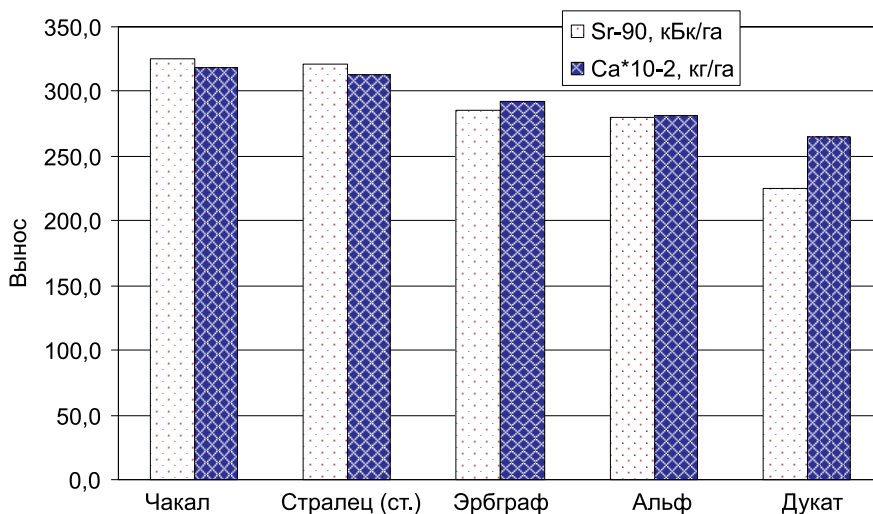


Рис. 4. Вынос радионуклида ^{90}Sr и кальция Ca с зерном сортов овса

У сортов овса наблюдалась тесная корреляционная связь между выносом Ca и выносом радионуклида ^{90}Sr с зерном ($r = 0,97$, $n = 5$, $p = 0,02$).

ВЫВОДЫ

1. Современное ведение сельскохозяйственного производства на загрязненных радиологически значимыми радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr территориях определяет необходимость применения защитных контрмер в течение длительного времени после аварии с использованием наименее затратных технологий, одной из которых является подбор сортов с низкими параметрами накопления и выноса радионуклидов. При оценке сортов по комплексу показателей для снижения внутренней дозы облучения населения было выявлено, что на дерново-подзолистых окультуренных супесчаных почвах, загрязненных только радионуклидом ^{137}Cs , наиболее предпочтительно возделывание сортов Чакал и Альф, на почвах, загрязненных только ^{90}Sr , лучшими для возделывания можно считать сорта Дукат и Альф и на почвах, загрязненных обоими радионуклидами, предпочтение следует отдать сорту Альф.

2. Учет установленных сортовых различий овса позволяет расширить диапазон пригодных почв для возделывания продовольственного зерна до 1,5 раза с 6,3 до 9,2 кБк/м², применив сорта Дукат, Эрбграф и Альф.

3. У исследуемых сортов овса обнаружена тесная корреляционная связь между выносом Ca и ^{90}Sr , что позволяет судить о сходных процессах метаболизма этих элементов в растении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин, Р. М. Концепция реабилитации загрязненных сельскохозяйственных угодий в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / Р. М. Алексахин [и др.] // Вестник РАСХН. – 2003. – №3. – С. 14-17.

2. Плодородие почв и применение удобрений

2. Алексахин, Р. М. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р. М. Алексахин; под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

3. Богдевич, И. М. Влияние сортовых особенностей кукурузы на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне и зеленой массе на дерново-подзолистой супесчаной почве / И. М. Богдевич [и др.] // Земляробства і ахова раслін: навукова-практычны часопіс. – 2007. – №2. – С. 39-42.

4. Богдевич, И. М. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.] / Министерство сельского хозяйства и продовольствия РБ, Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2003. – С. 41.

5. Гончарова, Н. В. Экспериментальное обеспечение оценки поведения ^{137}Cs в системе почва-растение / Н. В. Гончарова, В. В. Путырская // Агроэкология. – 2004. – Вып. 1. – С. 41-43.

6. Дробышевская, В. Подбор сорта как эффективный способ снижения накопления радионуклидов в ячмене / В. Дробышевская // Агроэкономика. – 2005. – №4. – С. 34-35.

7. Корольков, А. Г. Степень накопления радиоцезия сортообразцами клевера лугового позднеспелого типа / А. Г. Корольков, Е. Г. Кравцова // Хозяйственная деятельность и окружающая среда: материалы факульт. науч. конф., 18 декабря 2008 г., г. Горки / Мин-во сельского хозяйства и продовольствия РБ, Главное управление образования, науки и кадров, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Агроэкологический факультет. – Горки, 2009. – С. 71-73.

8. Крук, А. В. Особенности накопления радионуклидов овощными культурами / А. В. Крук, Г. Г. Гончаренко, А. В. Кильчевский // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2004. – №2. – С. 25-29.

9. Маликов, В. Г. Значение сорта в снижении накопления в урожае радионуклидов и тяжелых металлов / В. Г. Маликов [и др.] // Экологическая безопасность и беспестицидные технологии получения растениеводческой продукции. – Пуццiно, 1994. – С. 169-170.

10. Молчан, И. М. Селекционно-генетические аспекты снижения содержания экотоксикантов в растениеводческой продукции / И. М. Молчан // С.-х. биология. – 1996. – №1. – С. 55-66.

11. Размеры посевных площадей в Республике Беларусь в 2009 году = Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь в 2009 году: стат. бюллетень. – Минск: Нац. стат. ком. РБ, 2010. – 64 с.

12. Результаты испытания сортов сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь за 2002-2004 гг. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Комитет по государственному испытанию и охране сортов растений. – Ч. I. – Мн., 2004. – 339 с.

13. Смирнов, Е. Г. Жизненные формы и радиоэкология растений. Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале / Е. Г. Смирнов. – М.: Наука, 1993. – С. 103-119.

14. Тимофеев, С. Ф. Влияние видовых и сортовых особенностей на аккумуляцию ^{90}Sr зерновыми культурами / С. Ф. Тимофеев, И. А. Машков // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф, 2007, г. Горки. – С. 304-306.

15. Четверть века после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления. Национальный доклад РБ. – Минск: Департамент по ликвид. последств. катастроф. на ЧАЭС Мин-ва по чрезвычай. ситуац. РБ. – 2011. – 90 с.

REMOVAL OF RADIONUCLIDES ^{137}CS AND ^{90}SR BY OATS FROM THE SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL

O. M. Tavrykina, V. A. Dovnar

Summary

The data on crop yield of oats, specific activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in grain and straw, total removal of radionuclide ^{137}Cs and potassium, ^{90}Sr and calcium are presented. Estimated data of zoning and potential five oats varieties at its cultivation on lands contaminated by radionuclide ^{137}Cs and ^{90}Sr is given.

Поступила 3 октября 2011 г.

УДК 631.265:631.828:631.832

ВЛИЯНИЕ НАТРИЯ И ХЛОРА НА УРОЖАЙНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАЙГРАСА ОДНОЛЕТНЕГО

С. Е. Головатый, З. С. Ковалевич, Н. К. Лукашенко,
И. А. Ефимова, Н. В. Сидорейко

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Натрий и хлор относятся к эссенциальным элементам, они входят в состав всех живых организмов. Кларк натрия в литосфере составляет 2,3 %, биосе – 0,02 %. Кларк хлора в литосфере составляет 0,017 %. В организме человека хлора содержится около 0,14 % от массы тела [1].

В животном организме хлорид-ион с ионами натрия и калия участвуют в создании постоянного осмотического давления и регуляции водно-солевого обмена. Около 85 % хлора сосредоточено в межклеточных жидкостях. Физиологическая значимость хлора в растительном организме состоит в его участии в энергетическом обмене – активации окислительного фосфорилирования. Хлор-ион усиливает поглощение корнями кислорода, соединений калия, кальция, магния [2].

Физиологическая значимость натрия в животном организме определяется его участием в регулировании водно-солевого обмена. В исследованиях немецких авторов установлено, что недостаток натрия в рационе дойных коров оказывал отрицательное влияние на жирность молока [3].

В растительном организме основная функция натрия состоит в создании постоянного осмотического давления в клетке, натрий может заменить неспецифические функции калия.

Сельскохозяйственные культуры по-разному относятся к содержанию натрия и хлора в почве. К растениям с высокой потребностью в натрии относятся кормо-

2. Плодородие почв и применение удобрений

вая, сахарная и столовая свекла, мангольд, сельдерей, шпинат, томаты; со средней потребностью – люпин, овес, капуста, картофель, турнепс; с низкой – пшеница, ячмень, просо, лен, репа и очень низкой – гречиха, кукуруза, рис, соя, брюква [4]. Особую актуальность приобретает обеспечение натрием пастбищных трав. При употреблении большого количества травы у животных возникает заболевание, которое носит название травяная или пастбищная тетания (гипомагниемия). Типичные симптомы заболевания: повышенная нервная возбудимость, дрожь, шаткая походка, судороги. Причиной заболевания животных тетанией считают дисбаланс макроэлементов (избыток калия и недостаток магния, когда отношение $K/Ca+Mg$ составляет $> 2,2$) и повышенную концентрацию аммиака в рубце. Для уменьшения избыточного поступления калия в травяные корма и организм животных применяют натриевые удобрения, которые нормализуют соотношение в растениях натрия-калия, что в целом улучшает качество травяного корма и его усвоение животными. Нормальное соотношение $K:Na$ в травяных кормах должно составлять 3-5:1. Фактически это соотношение составляет 20-30:1 и более при содержании натрия менее 1 г/кг корма [3].

К повышенным концентрациям хлора в почве в меньшей степени чувствительны зерновые культуры (ячмень, кукуруза, сорго), подсолнечник, суданская трава, свекла, тогда как лен, картофель и гречиха резко реагируют на высокие концентрации хлоридов в почве, что приводит к различным внешним изменениям растений и резкому снижению урожая [5, 6].

Наряду с положительными физиологическими функциями хлора и натрия легкорастворимые соли этих элементов, поступающие в почву в избыточных количествах, могут оказывать негативное влияние на физико-химические свойства почвы, рост и развитие растений.

Избыток обменного натрия может привести к набуханию и (или) распылению почвы, что создает ряд трудностей для инфильтрации воды в почву, аэрации и проникновения корней, снижает способность растений адсорбировать из почвенного раствора влагу [5]. Дефицит влаги, возникающий в растениях при засолении почв легкорастворимым натрием и хлором, вызывает денатурацию белков, что отрицательно сказывается на жизненно важных процессах [7].

Избыточное поступление хлора в растения оказывает на них фитотоксическое действие, проявляющееся в замедлении роста и развития, отмирании тканей и целых органов, а зачастую – полной гибели растения. Легкорастворимые соли натрия и хлора оказывают влияние на фенольный комплекс, который регулирует рост растений и активность некоторых оксидоредуктаз [8].

Повышенное и избыточное содержание натрия и хлора в почве отмечается в условиях природного хлоридно-натриевого засоления как продукта почвообразовательного процесса аридных зон (солончаковые и солонцовые почвы). В районах распространения дерново-подзолистых почв повышенные концентрации натрия и хлора в почве обусловлены техногенным характером их загрязнения в зоне действия крупных промышленных предприятий, которые являются источниками выбросов этих элементов.

В Республике Беларусь основным источником хлоридно-натриевого загрязнения почв является ПО «Беларуськалий». Результаты исследований, выполненных РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в 1972-1975 гг. [9] и в 2005-2009 гг. [10, 11], показали, что в зоне воздействия калийных комбинатов локально выде-

ляются участки сельскохозяйственных земель с высоким и избыточным содержанием натрия и хлора в почве. В связи с этим возникла актуальная необходимость проведения исследований по изучению фитотоксического действия натрия и хлора на сельскохозяйственные культуры в условиях техногенного хлоридно-натриевого загрязнения почв.

Цель исследований – установить влияние разных уровней содержания натрия и хлора в почве на урожайность и химический состав райграса однолетнего.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ СЛЕДОВАНИЙ

В 2008-2009 гг. в условиях вегетационного эксперимента на дерново-подзолистой супесчаной почве были проведены исследования с райграсом однолетним Ивацевичский местный.

Почва, которая использовалась для проведения исследований, характеризовалась следующими агрохимическими показателями: гумус – 2,07-2,3 %; pH – 5,5-5,9; содержание подвижных форм фосфора – 120-150, калия – 180-200 мг/кг. Содержание водорастворимого натрия – 12-15, хлора – 20-25 мг/кг почвы.

Уровни содержания натрия и хлора в почве были созданы путем внесения солей NaCl, NaHCO₃ и NH₄Cl по схемам:

| Хлоридно-натриевое загрязнение (NaCl): | Натриевое (содовое) загрязнение (NaHCO ₃): | Хлоридное загрязнение (NH ₄ Cl): |
|---|--|---|
| Na ₁₂₋₁₅ Cl ₂₀₋₂₅ – фон | Na ₁₂₋₁₅ – фон | Cl ₂₀₋₂₅ – фон |
| Na ₅₀₋₇₀ Cl ₉₅₋₁₃₀ | Na ₅₀₋₇₀ | Cl ₁₂₀₋₁₄₀ |
| Na ₁₂₀₋₁₅₀ Cl ₂₂₀₋₂₄₀ | Na ₁₂₀₋₁₅₀ | Cl ₁₅₀₋₁₇₀ |
| Na ₂₅₀₋₃₀₀ Cl ₅₇₅₋₆₇₀ | Na ₂₅₀₋₃₀₀ | Cl ₂₀₀₋₂₂₀ |
| | Na ₄₀₀₋₅₀₀ | Cl ₃₅₀₋₄₀₀ |

Растения выращивали в вегетационных сосудах с массой почвы 5,5 кг. После появления всходов в каждом сосуде оставляли по 25 растений райграса. Повторность в опыте пятикратная. В качестве удобрений были использованы карбамид, аммофос и хлористый калий.

В течение вегетационного периода за растениями велись фенологические наблюдения. В исследованиях были проведены учет и анализ урожая 2 укосов райграса однолетнего.

Содержание химических элементов в почве и растениях определяли по гостированным методикам, в частности, содержание водорастворимого натрия в почве определяли по ГОСТ 26427-85, хлора – по ГОСТ 26425-85. Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием метода дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фенологические наблюдения в период вегетации райграса однолетнего показали, что в условиях хлоридно-натриевого загрязнения почвы на уровне Na₂₅₀₋₃₀₀Cl₅₇₅₋₆₇₀ мг/кг отмечалось наиболее позднее появление всходов, в последующие фазы вегетации прослеживалось явное отставание в росте и развитии растений.

2. Плодородие почв и применение удобрений

В условиях натриевого (содового) загрязнения при содержании водорастворимого натрия в почве на уровне 250-300 мг/кг визуально отмечалось уплотнение почвы, плохая водопроницаемость, а при уровне загрязнения 400-500 мг Na/кг почвы – сильное уплотнение почвы и образование сплошной корки с признаками «высаливания». На этом уровне натриевого загрязнения произошла полная гибель райграса однолетнего в фазе единичных всходов.

В условиях хлоридного загрязнения на уровне 120-400 мг Cl/кг почвы явных признаков угнетения растений райграса однолетнего в период вегетации визуально не установлено.

В условиях хлоридно-натриевого загрязнения урожайность райграса однолетнего при фоновом содержании водорастворимого натрия и хлора в почве соответственно 12-15 и 20-25 мг/кг варьировала в пределах 31,7-43,9 г/сосуд (табл. 1). В среднем за 2 года исследований урожайность райграса по сумме укосов на фоновом варианте составила 37,8 г/сосуд. Содержание водорастворимого натрия и хлора в почве на уровнях Na_{50-70} Cl_{95-130} и $Na_{120-150}$ $Cl_{220-240}$ мг/кг не оказало существенного влияния на урожайность райграса однолетнего.

Фитотоксичность хлорида натрия на растения райграса однолетнего в полной мере проявилась при загрязнении почвы на уровне $Na_{250-300}$ $Cl_{575-670}$ мг/кг. В 2008 году урожайность райграса по сумме укосов на этом уровне загрязнения снизилась на 12,3 %. В наибольшей степени фитотоксичность натрия проявилась в 2009 году – урожайность райграса снизилась на 69,4 %.

Таблица 1

Урожайность райграса однолетнего при разных уровнях содержания в почве натрия и хлора

| Натриевое загрязнение, Na мг/кг почвы | 2008 г. | | | 2009 г. | | | Среднее за 2 года | | |
|---------------------------------------|---------------------------|----------|------|---------------------------|----------|------|---------------------------|----------|------|
| | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | |
| | | г/сосуд | % | | г/сосуд | % | | г/сосуд | % |
| Na_{12-15} Cl_{20-25} (фон) | 43,9 | | | 31,7 | | | 37,8 | | |
| Na_{50-70} Cl_{95-130} | 43,2 | -0,7 | 1,6 | 31,4 | -0,3 | 0,9 | 37,3 | -0,5 | 1,3 |
| $Na_{120-150}$ $Cl_{220-240}$ | 43,0 | -0,9 | 2,0 | 30,1 | -1,6 | 5,0 | 36,6 | -1,2 | 3,2 |
| $Na_{250-300}$ $Cl_{575-670}$ | 38,5 | -5,4 | 12,3 | 9,7 | -22,0 | 69,4 | 24,1 | -16,7 | 36,2 |
| HCP_{05} | 2,2 | | | 1,9 | | | 1,4 | | |

В среднем за 2 года исследований снижение урожайности на данном уровне хлоридно-натриевого загрязнения почвы составило 36,2 %.

В условиях натриевого (содового) загрязнения при содержании водорастворимого натрия в почве на уровне 50-70 мг/кг урожайность райграса по сумме укосов находилась на уровне фоновой и варьировала в пределах 30,3-40,9 г/сосуд, в среднем – 35,6 г/сосуд (табл. 2). Тенденция к снижению урожайности отмечалась при повышении содержания натрия в почве до 120-150 мг/кг. В среднем за 2 года исследований снижение урожайности сена райграса однолетнего составило на этом уровне загрязнения 8,5 %. Существенное снижение урожайности райграса на 13,3 % в 2008 и на 10,3 % в 2009 годах установлено при содержании водорастворимого натрия в почве на уровне 250-300 мг/кг.

**Урожайность райграса однолетнего
при разных уровнях содержания в почве натрия**

| Натриевое загрязнение, Na мг/кг почвы | 2008 г. | | | 2009 г. | | | Среднее за 2 года | | |
|---------------------------------------|---------------------------|----------|-------|---------------------------|----------|-------|---------------------------|----------|-------|
| | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | |
| | | г/со-суд | % | | г/со-суд | % | | г/со-суд | % |
| Na ₁₂₋₁₅ (фон) | 42,0 | | | 31,1 | | | 36,5 | | |
| Na ₅₀₋₇₀ | 40,9 | -1,1 | -2,6 | 30,3 | -0,8 | -2,6 | 35,6 | -0,9 | -2,5 |
| Na ₁₂₀₋₁₅₀ | 37,9 | -4,1 | -9,8 | 28,9 | -2,2 | -7,1 | 33,4 | -3,1 | -8,5 |
| Na ₂₅₀₋₃₀₀ | 36,4 | -5,5 | -13,3 | 27,9 | -3,2 | -10,3 | 32,1 | -4,4 | -12,1 |
| Na ₄₀₀₋₅₀₀ | Растения погибли | | | 3,1 | -28,0 | -90,0 | 1,5 | -35,0 | -96,9 |
| НСП ₀₅ | 4,7 | | | 2,5 | | | 2,5 | | |

Загрязнение почвы натрием на уровне 400-500 мг/кг вызвало полную гибель растений в 2008 году. В 2009 г. при таком же уровне загрязнения урожая райграса практически не было получено (выжили отдельные растения), по сравнению с контрольным он снизился в 10 раз.

Хлор в меньшей степени, чем натрий оказывал фитотоксическое действие на урожайность райграса однолетнего. В условиях хлоридного загрязнения повышение содержания хлора в почве с 20-25 мг/кг на фоновом варианте до уровня 200-220 мг/кг почвы не оказало существенного влияния на урожайность райграса однолетнего по годам исследований. Снижение урожайности в среднем за 2 года составило 7,6 % (табл. 3). Фитотоксическое действие хлоридов на растения райграса установлено при содержании хлора в почве на уровне 350-400 мг/кг. Снижение урожайности на этом уровне в большей степени отмечено в 2009 году (на 20,5 %), чем в 2008 (на 11,4 %). В среднем за 2 года исследований при такой высокой концентрации хлоридов в почве урожайность райграса по сумме укосов снизилась на 14,9 %.

Повышение концентрации натрия и хлора в почве приводило не только к ухудшению питания растений райграса однолетнего, угнетению его роста и развития, но и оказывало непосредственное влияние на химический состав растений. При всех видах загрязнения почвы натрием и хлором в растениях райграса отмечено накопление этих элементов-загрязнителей.

Фоновое содержание натрия в сене райграса однолетнего в среднем за 2 года исследований составляло 218,8 мг/кг. В условиях хлоридно-натриевого загрязнения с увеличением уровня содержания натрия в почве с Na₁₂₋₁₅ мг/кг до Na₂₅₀₋₃₀₀ мг/кг произошло увеличение концентрации его в сене райграса однолетнего более чем в 11 раз (коэффициент накопления 11,3), и составило при максимальном уровне загрязнения почвы 2467,5 мг/кг сена.

Содержание хлора в сене райграса изменялось в меньшей степени (табл. 4). При увеличении содержания элемента в почве более чем в 25 раз содержание его в сене увеличилось только на 10-20 % (с 9200 до 1070 мг Cl/кг).

Накопление натрия райграсом однолетним в условиях натриевого загрязнения происходило более интенсивно, чем при хлоридно-натриевом загрязнении, о чем свидетельствуют коэффициенты накопления этого элемента (табл. 5). Так,

2. Плодородие почв и применение удобрений

увеличение загрязнения почвы натрием до $Na_{50-70} - Na_{250-300}$ мг/кг повышало его содержание в сене в 3,5–14,8 раза. При максимальном уровне загрязнения почвы натрием $Na_{250-300}$ мг/кг содержание натрия достигло 3247 мг/кг сена.

Таблица 3

Урожайность райграса однолетнего при разных уровнях содержания в почве хлора

| Хлоридное загрязнение, Cl, мг/кг почвы | 2008 г. | | | 2009 г. | | | Среднее за 2 года | | |
|--|---------------------------|----------|-------|---------------------------|----------|-------|---------------------------|----------|-------|
| | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | | сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | | Сумма 2-х укосов, г/сосуд | ± к фону | |
| | | г/сосуд | % | | г/сосуд | % | | г/сосуд | % |
| Cl ₂₀₋₂₅ (фон) | 43,9 | | | 29,7 | | | 36,8 | | |
| Cl ₁₂₀₋₁₄₀ | 42,2 | -1,7 | -3,9 | 28,0 | -1,7 | -5,7 | 35,1 | -1,7 | -4,6 |
| Cl ₁₅₀₋₁₇₀ | 42,1 | -1,8 | -4,1 | 26,8 | -2,9 | -9,8 | 34,5 | -2,3 | -6,2 |
| Cl ₂₀₀₋₂₂₀ | 41,9 | -2,0 | -4,6 | 26,2 | -3,5 | -11,8 | 34,0 | -2,8 | -7,6 |
| Cl ₃₅₀₋₄₀₀ | 38,9 | -5,0 | -11,4 | 23,6 | -6,1 | -20,5 | 31,3 | -5,5 | -14,9 |
| НСП ₀₅ | 2,3 | | | 3,0 | | | 3,8 | | |

Таблица 4

Химический состав райграса однолетнего при разных уровнях содержания натрия и хлора в почве (среднее за 2 года)

| Содержание Na и Cl в почве, мг/кг | Na, мг/кг | K _H [*] Na | Cl, мг/кг | K _H [*] Cl | N _{общ.} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg |
|---|-----------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|------|------|
| | | | | | % | | | | |
| Na ₁₂₋₁₅ Cl ₂₀₋₂₅ – (фон) | 218,8 | | 9210 | | 2,20 | 0,63 | 3,66 | 0,70 | 0,22 |
| Na ₅₀₋₇₀ Cl ₉₅₋₁₃₀ | 675,2 | 3,1 | 9900 | 1,1 | 2,16 | 0,62 | 3,83 | 0,55 | 0,21 |
| Na ₁₂₀₋₁₅₀ Cl ₂₀₀₋₂₄₀ | 1054,2 | 4,8 | 1020 | 1,1 | 2,19 | 0,63 | 4,06 | 0,54 | 0,21 |
| Na ₂₅₀₋₃₀₀ Cl ₅₇₅₋₆₇₀ | 2467,5 | 11,3 | 1070 | 1,2 | 2,17 | 0,72 | 4,18 | 0,53 | 0,21 |
| НСП ₀₅ | | | | | 0,13 | 0,06 | 0,38 | 0,04 | 0,02 |

K_H^{*} – коэффициент накопления.

Таблица 5

Химический состав райграса однолетнего при разных уровнях содержания натрия в почве (среднее за 2 года)

| Содержание Na в почве, мг/кг | Na, мг/кг | K _H [*] Na | N _{общ.} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg |
|------------------------------|-----------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|------|------|
| | | | % | | | | |
| Na ₁₂₋₁₅ – (фон) | 218,8 | | 2,20 | 0,63 | 3,66 | 0,70 | 0,22 |
| Na ₅₀₋₇₀ | 777,1 | 3,5 | 2,22 | 0,63 | 4,11 | 0,56 | 0,22 |
| Na ₁₂₀₋₁₅₀ | 1786,6 | 8,2 | 2,17 | 0,69 | 4,21 | 0,53 | 0,21 |
| Na ₂₅₀₋₃₀₀ | 3246,7 | 14,8 | 2,17 | 0,80 | 4,24 | 0,51 | 0,22 |
| НСП ₀₅ | | | 0,09 | 0,08 | 0,22 | 0,04 | 0,02 |

K_H^{*} – коэффициент накопления.

В условиях хлоридного загрязнения с увеличением содержания хлора в почве происходило увеличение его концентрации в сене райграса однолетнего. Коэффициенты накопления элемента, как и в условиях хлоридно-натриевого загрязнения, находились в узком диапазоне значений – 1,1-1,3. При увеличении хлора в почве до $Cl_{350-400}$ мг/кг содержание его в сене райграса увеличилось по сравнению с фоновым в 1,3 раза и составило 12200 мг/кг сена (табл. 6).

Экспериментальные данные химического анализа растений показали, что натрий и хлор в разной степени оказывали влияние на изменение содержания азота, фосфора, калия и кальция в сене райграса однолетнего.

Таблица 6

Химический состав райграса однолетнего при разных уровнях содержания хлора в почве (среднее за 2 года)

| Содержание Cl в почве, мг/кг | Cl, мг/кг | K_n^* Na | $N_{общ.}$ | P_2O_5 | K_2O | Ca | Mg |
|------------------------------|-----------|------------|------------|----------|--------|------|------|
| | | | % | | | | |
| Cl_{20-25} – (фон) | 9200 | | 2,20 | 0,63 | 3,66 | 0,70 | 0,22 |
| $Cl_{120-140}$ | 10100 | 1,1 | 2,19 | 0,67 | 3,87 | 0,66 | 0,21 |
| $Cl_{150-170}$ | 10600 | 1,2 | 2,16 | 0,64 | 3,85 | 0,69 | 0,22 |
| $Cl_{200-220}$ | 10850 | 1,3 | 2,13 | 0,65 | 3,84 | 0,65 | 0,21 |
| $Cl_{350-400}$ | 12200 | 1,3 | 2,16 | 0,70 | 3,89 | 0,66 | 0,21 |
| HCP_{05} | | | 0,11 | 0,07 | 0,26 | 0,06 | 0,02 |

K_n^* – коэффициент накопления.

На фоновом варианте содержание азота ($N_{общ.}$) в сене райграса составило 2,20 %, фосфора (P_2O_5) – 0,63, калия (K_2O) – 3,66, кальция – 0,70 и магния – 0,22 %.

В диапазоне изучаемых уровней загрязнения почвы натрием и хлором не установлено существенных изменений по содержанию общего азота в сене райграса (табл. 4-6). Отмечена тенденция к снижению содержания азота в растениях с повышением концентрации элементов-загрязнителей в почве.

На высоких уровнях хлоридно-натриевого загрязнения почвы отмечено повышение накопления в растениях райграса калия и фосфора. При увеличении степени хлоридно-натриевого загрязнения почвы до $Na_{250-300}$ и $Cl_{575-670}$ мг/кг установлено повышение содержания фосфора в растениях райграса на 0,52 %. Аналогичная закономерность наблюдалась в условиях натриевого загрязнения, где при максимальном уровне содержания натрия в почве – $Na_{250-300}$ мг/кг содержание фосфора увеличивалось на 0,17 %. В условиях хлоридного загрязнения почвы на уровне $Cl_{350-400}$ мг/кг отмечена тенденция к повышению содержания фосфора в растениях райграса.

На основании полученных результатов были установлены корреляционные зависимости между содержанием натрия в почве и содержанием фосфора в растениях, которые описывались линейными уравнениями регрессии. Коэффициент корреляции между этими показателями при хлоридно-натриевом загрязнении составил $r = 0,63$, при натриевом загрязнении – $r = 0,70$.

Результаты исследований показали, что с увеличением уровня содержания хлора в почве с Cl_{20-25} до $Cl_{350-400}$ мг/кг отмечено увеличение содержания фосфора в растениях на 0,07 %.

Содержание калия в райграсе однолетнем с увеличением уровня загрязнения почвы натрием и хлором увеличивалось. Так, в условиях хлоридно-натриевого загрязнения при содержании в почве $\text{Na}_{120-150}$ и $\text{Cl}_{200-240}$ мг/кг наблюдалось увеличение содержания калия в растениях на 0,4 %, при максимальном уровне загрязнения $\text{Na}_{250-300}$ и $\text{Cl}_{575-670}$ мг/кг – на 0,52 %. Такая же закономерность отмечена в условиях натриевого загрязнения, с увеличением содержания натрия в почве с Na_{50-70} до $\text{Na}_{250-300}$ мг/кг установлено повышение концентрации калия в растениях райграса на 0,45-0,58 %. Между содержанием натрия в почве и содержанием калия в растениях была установлена прямая зависимость: $R = 0,54$ – для хлоридно-натриевого загрязнения, $r = 0,53$ – для натриевого загрязнения. Очевидно, повышение накопления этих элементов в растениях на высоких уровнях загрязнения почвы обусловлено снижением урожайности и «концентрированием» их в продукции. Возможно, здесь имеет место и известное синергическое взаимодействие между катионами K, Na, Cl.

Хлоридно-натриевое и натриевое загрязнение почвы оказало влияние на содержание кальция в райграсе однолетнем. Между содержанием натрия в почве и кальция в растениях была установлена обратная зависимость. Коэффициент корреляции этих уравнений при хлоридно-натриевом и натриевом загрязнении составил $r = -0,63$. При содержании натрия и хлора в почве на уровне Na_{50-70} Cl_{95-130} мг/кг в условиях хлоридно-натриевого загрязнения и Na_{50-70} мг/кг – в условиях натриевого загрязнения установлено снижение содержания кальция в растениях на 0,14-0,15 %. С увеличением содержания элемента в почве до $\text{Na}_{250-300}$ $\text{Cl}_{575-670}$ мг/кг содержание кальция снижалось на 0,17-0,19 %. Вероятно, это связано с антагонистическим взаимодействием элементов при поступлении в растения. Высокое содержание натрия в почве уменьшает поглощение кальция растениями, что приводит к кальциевому голоданию [17].

Хлоридно-натриевое и натриевое загрязнение почвы не оказало влияния на содержание магния в сене райграса однолетнего.

В условиях хлоридного загрязнения почвы (25-400 мг Cl/кг) не установлено изменений в содержании азота, калия, кальция и магния в сене райграса однолетнего (табл. 6).

ВЫВОДЫ

1. Отрицательное влияние натрия на урожайность райграса увеличивалась с повышением концентрации элемента в дерново-подзолистой супесчаной почве. Снижение урожайности райграса однолетнего на 8,5 % отмечено при содержании в почве натрия на уровне 120-150 мг/кг, на 12,0 % – при содержании натрия на уровне 250-300 мг/кг почвы. Сильное угнетение и полная гибель растений отмечены при содержании в почве натрия на уровне 400-500 мг/кг.

2. Хлор оказывал меньшее фитотоксическое действие на растения райграса однолетнего, чем натрий и хлорид натрия. При хлоридном загрязнении снижение урожайности райграса однолетнего на 14,9 % установлено при содержании 350-400 мг Cl/кг почвы.

3. В условиях хлоридно-натриевого загрязнения почвы фитотоксическое действие натрия и хлора на урожайность райграса однолетнего установлено при концентрации $\text{Na}_{250-300}$ $\text{Cl}_{575-670}$ мг/кг почвы, снижение урожайности составило 36,2 %.

4. С увеличением уровня содержания натрия и хлора в почве установлено увеличение концентрации этих элементов-загрязнителей в сене райграса однолетнего. Наиболее интенсивно накопление натрия в растениях происходило в условиях натриевого загрязнения, коэффициенты накопления этого элемента при уровнях загрязнения 50-70 – 250-300 мг Na/кг почвы варьировали в пределах 3,5-14,8. В условиях хлоридно-натриевого загрязнения в диапазоне $Na_{50-70} Cl_{95-130} - Na_{250-300} Cl_{575-670}$ мг/кг коэффициенты накопления натрия составляли 3,1-11,3. Накопление хлоридов в растениях райграса однолетнего происходило менее интенсивно, чем натрия. Коэффициенты накопления элемента при хлоридно-натриевом и хлоридном загрязнении в диапазоне изучаемых доз варьировали в пределах 1,1-1,3.

5. Установлены корреляционные зависимости между содержанием натрия и хлора в почве и содержанием в растениях фосфора, калия и кальция, которые описывались линейными уравнениями регрессии. Коэффициенты корреляции между содержанием натрия в почве и содержанием фосфора в растениях составили $r = 0,63$ – при хлоридно-натриевом загрязнении и $-r = 0,70$ – при натриевом загрязнении. Прямая зависимость установлена между содержанием в почве натрия и содержанием в растениях калия: $r = 0,54$ – для хлоридно-натриевого загрязнения, $r = 0,53$ – для натриевого загрязнения. Обратная зависимость установлена между содержанием в почве натрия и содержанием кальция в растениях Коэффициент корреляции при хлоридно-натриевом и натриевом загрязнении составил $r = -0,63$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хлор. Cl. / <http://microelements.ru/Cl>. – Дата доступа: 21.09.2011.
2. Carmen, Lopez-Berenguer. Are root hydraulic conductivity responses to salinity controlled by aquaporins in broccoli plants? / Carmen, Lopez-Berenguer, Cristina Garcia-Viguera & Micaela Carvajal // Plant and Soil. – 2006. – P. 279.
3. Георгиевский, В. И. Минеральное питание животных / В. И. Георгиевский, Б. Н. Анненков, В. Т. Самохин. – Москва: Колос, 1979. – 471 с.
4. Hempler, K. Spuren-und Sekundärnährstoffe im Pflanzenbau / K. Hempler. – Frankfurt / M., 2001. – 64 s.
5. Бреслер, Э. Солончаки и солонцы. Принципы, динамика, моделирование / Э. Бреслер, Б. Л. Макнил, Д. Л. Картер. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 300 с.
6. Чуприна, Э. В. Формирование генеративных органов ячменя в условиях почвенного засоления / Э. В. Чуприна // Вопросы солеустойчивости растений. – Ташкент, 1973. – С. 328-335.
7. Brod, H.-D. Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalyen / H.-D. Brod // Verkerstechnik Hett. – 1995. – V. 12.
8. Достанова, Р. Х. Фенольный комплекс растений при засолении среды: дис. ... д-ра биол. наук в форме научного доклада: 03.00.12 / Р. Х. Достанова; НГУ. – Новосибирск, 1994, – 42 с.:
9. Жигарев, П. Ф. Влияние промышленных отходов комбината «Беларуськалий» на засоление окружающих почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / П. Ф. Жигарев; БГУ – Минск, 1975. – 28с.

10. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение I. Хлориды / С. Е. Головатый [и др.] // Почвоведение и агрохимия – Минск. – 2008. – №1(40). – С. 297-306.

11. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение II. Натрий / С. Е. Головатый [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – №2(41). – С. 244-255.

INFLUENCE OF SODIUM AND CHLORINE ON PRODUCTIVITY AND CHEMICAL COMPOUND OF LOLIUM WESTERWOLDICUM

**S. E. Golovaty, Z. S. Kovalevitch, N. K. Lukashenko,
I. A. Efimova, N. V. Sidoreiko**

Summary

Different degree of phytotoxicity of sodium and chlorine on productivity of *Lolium westerwoldicum* annual in conditions sodium, chlorine and chlorine-sodium pollution of luvisol loamy sandy soil is established.

Accumulation in hay of *Lolium westerwoldicum* sodium and chlorine at different levels of pollution of soil is presented.

Correlation dependences between the content in soil of sodium and the content in *Lolium westerwoldicum* of phosphorus, potassium and calcium are established.

Поступила 5 октября 2011 г.

УДК 361.416.1:631.445.2:631.84

МИГРАЦИЯ И БАЛАНС АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ (ПО ДАННЫМ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУП «ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»)

Г. В. Пироговская¹, О. П. Сазоненко²

¹*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

²*Опытная научная станция по сахарной свекле, г. Несвиж, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Азот считается главным незаменимым биофильным элементом, определяющим урожайность сельскохозяйственных культур. Продуктивность агроценозов и динамика подвижных соединений азота в дерново-подзолистых почвах в основном зависит от почвенного плодородия в целом, системы удобрений и круговорота азотных соединений [1, 2, 3, 4, 5].

Баланс азота в системе «почва – удобрение – растение» позволяет регулировать плодородие почвы, контролировать качественный и количественный состав

почвенного раствора и тем самым предвидеть и (или) предотвратить возможное загрязнение почв и окружающей среды соединениями азота, обосновать наиболее рациональное его применение при возделывании сельскохозяйственных культур.

Лизиметрический метод позволяет изучить такие характеристики, которые в полевых условиях исследовать невозможно, например, почвенный раствор [6, 7].

Существенный вклад в изучение применения азотных удобрений и их превращение в почвах внесли ученые: Д. А. Кореньков, П. М. Смирнов, Н. Н. Безлюдный, Н. Н. Семененко [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12].

Установлено, что при нерациональном бессистемном использовании минеральных удобрений и не соблюдении требуемых агротехнических приемов возможны негативные последствия на окружающую среду: загрязнение грунтовых вод и открытых водоемов; увеличение газообразных потерь азота из удобрений и почв; снижение плодородия почв; ухудшение качества сельскохозяйственной продукции [13].

По данным Гидрометцентра атмосферные осадки Беларуси в целом характеризуются небольшой минерализацией (до 27 мг/л), с преобладанием сульфатов (26-40 % от суммы ионов), нитратов и ионов аммония (24-36 %), а также гидрокарбонатов (8-20 %). Содержание ионов аммония и нитратов в атмосферных осадках по Республике Беларусь (среднее по областям) следующее: NH_4^+ – 0,5-2,02 мг/л, NO_3^- – 1,28-2,64 мг/л, при этом сумма атмосферных осадков за год колеблется от 496 до 689 мм [14, 15].

Исследованиями И. А. Юшкевича с соавторами и Н. И. Туренкова показали, что с атмосферными осадками поступает от 3,0 до 4,5 кг/га азота [16, 17].

По результатам лизиметрических исследований, проведенных в России, установлено, что объем лизата определяется и количеством осадков и интенсивностью их выпадения. Например, в среднем за 1989-1997 гг. объем лизата в полуметровых лизиметрах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве составлял 15-18 % от объема выпавших осадков [18-20]. Однако, коэффициент просачивания осадков был вдвое выше на супесчаных почвах по сравнению с суглинистыми. Так, вымывание N из супесчаной почвы варьировало от 3,27 до 15,2 кг/га, из суглинистой – от 0,41 до 2,35 кг/га [21, 22].

На долю газообразных потерь азота их долю приходится существенная часть потерь азота из удобрений. Процесс превращения азота в газообразные формы носит преимущественно микробиологический характер, например, в стерильных почвах баланс азота «почва + растения» близок к 100 % [23].

Исследования, проведенные в Институте почвоведения и агрохимии, показали, что газообразные потери из аммиачной селитры на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве увеличиваются с повышением доз азотных удобрений, и могут составлять 15-30 % от внесенного азота [11, 24].

Вымывание азота в форме аниона – NO_3^- зависит от количества выпадающих осадков, доз удобрений, типа почв и возделываемой культуры. По данным российских и зарубежных исследователей, потери азота при вымывании составляют 1,5-39 % от дозы внесенного азота [25-30].

В совместных опытах МСХА и ВНИИА с меченым ^{15}N установлено, что использование сельскохозяйственными культурами азота удобрений составляет 30-50 %, около 40 % его остается в почве в закрепленном виде, а процесс вымывания затрагивает в основном азот почвенных соединений [31].

2. Плодородие почв и применение удобрений

Исследованиями с меченым ^{15}N показано, что использование минерального азота растениями составляет 14,5-58,0 %, из органических удобрений – 9,2-14 %, потери азота минеральных удобрений достигают до 58 % от внесенной дозы, причем в лизате из обнаруженного азота содержится 0,4-16,1 % из минеральных удобрений, а от 27 % до 85 % азота удобрений закрепляется в органическом веществе почвы [10].

Цель – определить количественные показатели поступления азота с атмосферными осадками, потери при выщелачивании, содержание в почве в зависимости от возрастающих доз азотных удобрений, определить баланс азота на дерново-подзолистых почвах при возделывании сельскохозяйственных культур в звене севооборота.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава, атмосферные осадки, лизиметрические воды, сельскохозяйственные культуры.

Агрохимические показатели пахотных и подпахотных горизонтов исследуемых почв приведены в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели исследуемых почв, 2002 г.

| Глубина, см | рН (KCl) | Гумус, % | P_2O_5 | K_2O | Ca | Mg |
|--|----------|----------|------------------------|----------------------|-----|-----|
| | | | мг/кг | | | |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке | | | | | | |
| 0-25 | 4,9 | 2,30 | 348 | 138 | 924 | 111 |
| 25-35 | 4,5 | 0,93 | 262 | 58 | 904 | 192 |
| 40-50 | 4,4 | 0,60 | 289 | 59 | 944 | 177 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком | | | | | | |
| 0-25 | 5,1 | 2,30 | 231 | 147 | 627 | 69 |
| 25-30 | 5,0 | 0,91 | 58 | 104 | 411 | 61 |
| 40-50 | 4,7 | 0,40 | 36 | 70 | 345 | 102 |

Исследования проводили в 2002-2005 гг. на лизиметрической станции. Лизиметры выполнены в форме бетонных колец, площадью 3,14 м² (диаметр 2,0 м). Глубина лизиметров 1,0 м и 1,5 м. Лизиметры заполнены следующими почвами: дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке и дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком.

Опыт был заложен в звене гречиха – картофель – просо пятипольного севооборота (пелюшко-овсяная смесь (з/м) – гречиха – картофель – просо – овес+горчица сарептская) по схеме приведенной в табл. 2.

В качестве минеральных удобрений применяли: азотные – карбамид; фосфорные – аммонизированный суперфосфат; калийные – гранулированный хлористый калий. Содержание питательных веществ в органическом удобрении, вносимом

под картофель следующее: N – 2,0 %, P₂O₅ – 0,98 %, K₂O – 4,6 %, CaO – 1,31 %, MgO – 0,95 %, рН (kcl) – 6,5, влажность – 78 %.

Таблица 2

Схема лизиметрического опыта

| Гречиха, Смуглянка 2002 г. | Картофель, Криница 2003 г. | Просо, Галинка 2004 г. |
|--|--|--|
| 1. Контроль без удобрений | 1. Контроль без удобрений | 1. Контроль без удобрений |
| 2. P ₄₅ K ₇₅ (фон) | 2. N* P ₆₀ K ₅₀ K ₁₂₀ (фон) | 2. P ₄₀ K ₉₀ (фон) |
| 3. Фон + N ₆₀ | 3. Фон + N ₇₀ | 3. Фон + N ₆₀ |
| 4. Фон + N ₉₀ | 4. Фон + N ₁₀₀ | 4. Фон + N ₉₀ |

* Органические удобрения (навоз КРС 60 т/га).

Методы исследования, закладка лизиметрических опытов и возделывание культур в опытах проводили в соответствии с методическими указаниями, рекомендованными в Республике Беларусь.

За период исследований (май 2002-апрель 2005 гг.) количество выпавших осадков различалось как по годам, так и по месяцам, что сказалось на интенсивности и динамике просачивания осадков (табл. 3).

Таблица 3

Осадки на лизиметрической станции, мм

| Месяц | 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. | 2005 г. |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| | мм | | | |
| Январь | -* | 32,3 | 75,8 | 35,3 |
| Февраль | - | 34,5 | 78,0 | 33,6 |
| Март | - | 25,9 | 33,2 | 58,9 |
| Апрель | - | 90,1 | 48,2 | 19,0 |
| Май | 24,2 | 53,2 | 26,6 | - |
| Июнь | 37,0 | 28,6 | 53,4 | - |
| Июль | 47,5 | 126,5 | 94,9 | - |
| Август | 44,3 | 39,6 | 119,0 | - |
| Сентябрь | 27,5 | 15,6 | 44,2 | - |
| Октябрь | 126,7 | 65,8 | 63,8 | - |
| Ноябрь | 16,0 | 17,8 | 39,3 | - |
| Декабрь | 14,0 | 44,4 | 37,1 | - |

* Количество осадков в эти месяцы не приводятся, так как в период наших исследований они не входили.

Погодные условия за вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур звена севооборота различались по годам (табл. 4).

При возделывании гречихи в 2002 г. условия вегетационного периода характеризовались как засушливые (ГТК – 0,76). Отмечалась повышенная температура воздуха и малое количество осадков, с мая по 8 августа было 16 дней с осадками, из них не эффективными (менее 5,0 мм) – 9, что и обусловило невысокую урожайность зерна гречихи.

Таблица 4

Осадки и температура воздуха за вегетационные периоды возделывания сельскохозяйственных культур, (г. Минск)

| Месяц | Дека- да | Осадки, мм | | | t°С | | | Среднеголетние* | |
|----------|-------------|------------|-------|------|------|------|------|-----------------|------|
| | | 2002 | 2003 | 2004 | 2002 | 2003 | 2004 | осадки, мм | t°С |
| Май | 1 | 0,0 | 0,0 | 13,7 | 15,8 | 13,5 | 13,5 | | |
| | 2 | 9,4 | 42,1 | 7,5 | 13,1 | 13,0 | 9,5 | | |
| | 3 | 14,8 | 11,1 | 5,4 | 16,3 | 18,5 | 11,0 | | |
| За месяц | | 24,2 | 53,2 | 26,6 | 15,1 | 15,0 | 11,3 | 59 | 12,7 |
| Июнь | 1 | 0,0 | 3,6 | 2,3 | 16,6 | 15,5 | 14,5 | | |
| | 2 | 12,7 | 2,3 | 30,0 | 18,1 | 15,0 | 14,5 | | |
| | 3 | 24,3 | 22,7 | 21,1 | 17,0 | 15,5 | 16,0 | | |
| За месяц | | 37,0 | 28,6 | 53,4 | 17,2 | 15,3 | 15,0 | 77 | 16,1 |
| Июль | 1 | 9,4 | 99,8 | 13,6 | 20,7 | 17,5 | 15,5 | | |
| | 2 | 29,7 | 14,6 | 8,4 | 24,0 | 19,5 | 16,5 | | |
| | 3 | 8,4 | 12,0 | 72,9 | 21,2 | 23,0 | 21,0 | | |
| За месяц | | 47,5 | 126,4 | 94,9 | 21,9 | 20,0 | 17,7 | 92 | 17,7 |
| Август | 1 | 27,7 | 8,3 | 13,7 | 20,4 | 19,0 | 20,0 | | |
| | 2 | 16,6 | 6,6 | 32,2 | - | 18,0 | 18,5 | | |
| | 3 | 0,0 | 24,7 | 73,1 | - | 15,5 | 18,0 | | |
| За месяц | | 44,3 | 39,6 | 119 | - | 17,5 | 18,8 | 72 | 16,3 |
| ГТК | | 0,76 | 1,18 | 1,54 | | | | 1,55 | |

* Данные Гидрометцентра Республики Беларусь.

В течение вегетационного периода возделывания картофеля за май – август 2003 г. (ГТК – 1,18 слабозасушливый) выпало 216,5 мм осадков, при среднеголетнем – 300 мм. В июне осадков выпало примерно на треть меньше среднеголетних, но в июле осадки превысили среднеголетние – на 36,4 мм (за май-сентябрь было 29 дней с осадками). В целом погодные условия вегетационного периода способствовали формированию хорошего урожая картофеля.

За вегетационный период прося (май – август 2004 г., ГТК – 1,54 – оптимальный) выпало 293,9 мм осадков, при среднеголетнем – 300 мм, количество дней с осадками составило 34. Среднесуточная температура в мае-июне была на 1,0-1,7 °С ниже, в августе на 2 °С выше среднеголетней. ГТК по месяцам был следующим: в мае – 0,78, июне – 1,19, июле – 1,75, августе – 2,07.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация химических элементов в атмосферных осадках определяется количеством выпавших осадков, географическим условием и рельефом местности, наличия промышленных производств, трансграничным переносом, содержанием пыли в воздухе и т. д. [14, 15].

Содержание ионов NH_4^+ в осадках (за май-сентябрь) 2002 г. находилось в пределах от 1,6 до 10,5 мг/л, 2003 г. – 0,0-8,0 и 2004 г. – 0,0-0,9 мг/л, соответственно: NO_3^- – 0,8-4,7, 1,4-4,2 и 0,7-2,0 мг/л (табл. 5).

Концентрация ионов NH_4^+ в осадках в среднем за год находилась в пределах от 0,75 до 3,1 мг/л, NO_3^- – 1,19-2,30 мг/л.

Отмечена тенденция увеличения концентрации ионов NH_4^+ и NO_3^- в атмосферных осадках за вегетационный период (май-сентябрь), по сравнению со среднегодовой их концентрацией, а также снижение концентрации NH_4^+ с увеличением выпадения осадков.

Таблица 5

Содержание ионов NH_4^+ и NO_3^- в атмосферных осадках на лизиметрической станции, мг/л

| Месяц | NH_4^+ | | | NO_3^- | | |
|--------------------------------|-----------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 |
| Май | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 2,9 | 3,8 | 2,0 |
| Июнь | 1,8 | 8,0 | 0,9 | 4,7 | 3,1 | 1,6 |
| Июль | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 1,1 | 1,4 | 1,2 |
| Август | 10,5 | 1,5 | 0,4 | 0,8 | 1,4 | 0,7 |
| Сентябрь | 1,9 | 4,0 | 0,5 | 2,7 | 4,2 | 1,1 |
| Октябрь | 10,4 | 4,1 | 0,0 | 0,6 | 0,8 | 1,3 |
| Ноябрь | 4,3 | 0,0 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 0,7 |
| Декабрь | 0,0 | 0,0 | 1,7 | 1,7 | 3,0 | 0,9 |
| Январь | 0,0 | 0,9 | 4,5 | 2,7 | 1,3 | 1,7 |
| Февраль | 1,5 | 0,9 | 0,0 | 1,4 | 0,9 | 1,4 |
| Март | 1,0 | 0,0 | 0,1 | 2,2 | 1,4 | 0,7 |
| Апрель | 2,8 | 2,0 | 0,4 | 2,0 | 1,4 | 1,2 |
| Среднее за май-сентябрь | 3,4 | 2,7 | 0,4 | 2,5 | 2,8 | 1,3 |
| Среднее | 3,10 | 1,78 | 0,75 | 2,00 | 2,30 | 1,19 |

В практике сельскохозяйственного производства при расчете хозяйственного баланса в системе «почва-удобрение-растение» одной из приходных статей элементов питания является количество химических элементов поступивших с атмосферными осадками (кг/га). Результаты исследований показали, что поступление химических элементов с атмосферными осадками значительно различаются как ежемесячно, так и ежегодно. Данные поступления азота за год изменялись в следующих пределах: N-NH_4 от 3,73 до 24,10 кг/га, N-NO_3 – 6,89-11,30 кг/га (табл. 6).

Следует отметить, что количество аммонийного и нитратного азота с осадками за вегетационный период с мая по сентябрь, по сравнению с годовым их содержанием, составляет в среднем 42,2 %.

Полученные данные показали, что среднегодовое (за 3 года) поступление общего азота ($\text{N}_{\text{общ}}$) с атмосферными осадками на поверхность почвы составляло 21,10 кг/га.

Просачивание атмосферных осадков через слой почвы глубиной 1,0-1,5 м зависит от гранулометрического состава. Например, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве величина инфильтрата за лизиметрический год (май 2002-апрель 2003 г.) составляла 2,7 и 2,6 % (в зависимости от глубины лизиметра) от общего количества выпавших атмосферных осадков, за 2003-2004 г. – 13,1 и 15,6 %, за 2004-2005 г. – 13,1 и 15,6 %.

2. Плодородие почв и применение удобрений

2004-2005 гг. – 20,2 и 20,8 %, соответственно на супесчаной, подстилаемой песком почве – 23,5 и 34,9 %, 22,6 и 35,1 %, 28,2 и 36,7 % (табл. 7).

Таблица 6

Поступление азота с атмосферными осадками (лизиметрический год), кг/га

| Месяц | N-NH ₄ ⁺ | | | N-NO ₃ ⁻ | | |
|---------------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 |
| Май | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 0,71 | 1,99 | 0,52 |
| Июнь | 0,67 | 2,29 | 0,48 | 1,73 | 0,88 | 0,87 |
| Июль | 0,67 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 1,74 | 1,13 |
| Август | 4,65 | 0,57 | 0,49 | 0,36 | 0,53 | 0,79 |
| Сентябрь | 0,52 | 0,63 | 0,21 | 0,75 | 0,65 | 0,46 |
| Октябрь | 13,2 | 2,70 | 0,00 | 0,73 | 0,51 | 0,83 |
| Ноябрь | 0,68 | 0,00 | 0,20 | 0,07 | 0,88 | 0,26 |
| Декабрь | 0,00 | 0,00 | 0,61 | 0,24 | 1,31 | 0,33 |
| Январь | 0,00 | 0,68 | 1,60 | 0,85 | 0,96 | 0,59 |
| Февраль | 0,52 | 0,70 | 0,00 | 0,47 | 0,68 | 0,47 |
| Март | 0,26 | 0,00 | 0,07 | 0,54 | 0,48 | 0,42 |
| Апрель | 2,52 | 0,97 | 0,08 | 1,80 | 0,69 | 0,23 |
| Сумма | 24,10 | 8,53 | 3,73 | 8,80 | 11,30 | 6,89 |
| Среднее в месяц | 2,00 | 0,71 | 0,31 | 0,73 | 0,94 | 0,57 |
| Среднее за три года | 12,1 | | | 9,0 | | |

Таблица 7

Количество профильтровавшихся атмосферных осадков за лизиметрический год

| Лизиметрический год | 2002-2003 гг. | | 2003-2004 гг. | | 2004-2005 гг. | |
|--|-------------------------|------|---------------|------|---------------|------|
| Осадки, мм | 520 | | 626,7 | | 625,1 | |
| Глубина лизиметра, м | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| Почва | % просочившихся осадков | | | | | |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке | 2,7 | 2,6 | 13,1 | 15,6 | 20,2 | 20,8 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,3 м рыхлым песком | 23,5 | 34,9 | 22,6 | 35,1 | 28,2 | 36,7 |

Несколько другой характер инфильтрации атмосферных осадков в почвенном профиле наблюдается в течение годового цикла наблюдений. Так, например, инфильтрация атмосферных осадков за вегетационный период с мая по сентябрь в 2002 г. через слой почвы 1,0 и 1,5 м отсутствовала во всех исследуемых почвах. На дерново-подзолистой супесчаной почве в 2003 г. за тот же период инфильтрат составил 19,5 % от годового его количества, а в 2004 – 10,0 % (табл. 8).

Наибольшее количество профильтровавшейся влаги через слой почвы 1,0 и 1,5 м происходило в ранневесенний период снеготаяния (март-апрель). Так, из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в засушливый (2002 г.) и сла-

бозасушливый (2003 г.) годы наибольшее количество инфильтрата (99-100 % от годового его количества) фильтровалось в период с января по апрель, в оптимальный по степени увлажнения (2004 г.) – весной 51,2 % и осенью 48,8 %. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлым песком, почве доля весеннего инфильтрата составляла от 46,3 до 62,4 %, осеннего – 18,1-43,7 % в зависимости от условий года (табл. 8).

Таблица 8

Динамика просачивания инфильтрата на дерново-подзолистых почвах за 2002-2005 гг.

| Почва | 2002-2003 гг. | | | 2003-2004 гг. | | | 2004-2005 гг. | | |
|--|---|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель |
| | распределение инфильтрата по отборам, % | | | | | | | | |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке | - | - | 100 | - | 1 | 99,0 | - | 48,8 | 51,2 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,3 м рыхлым песком | - | 42,5 | 57,5 | 19,5 | 18,1 | 62,4 | 10,0 | 43,7 | 46,3 |

Графическое изображение количества профильтровавшихся осадков (л/лизи-метр) через слой почвы 1,0-1,5 м (среднее) за период май 2002 г. – апрель 2005 г. приведено на рисунке.

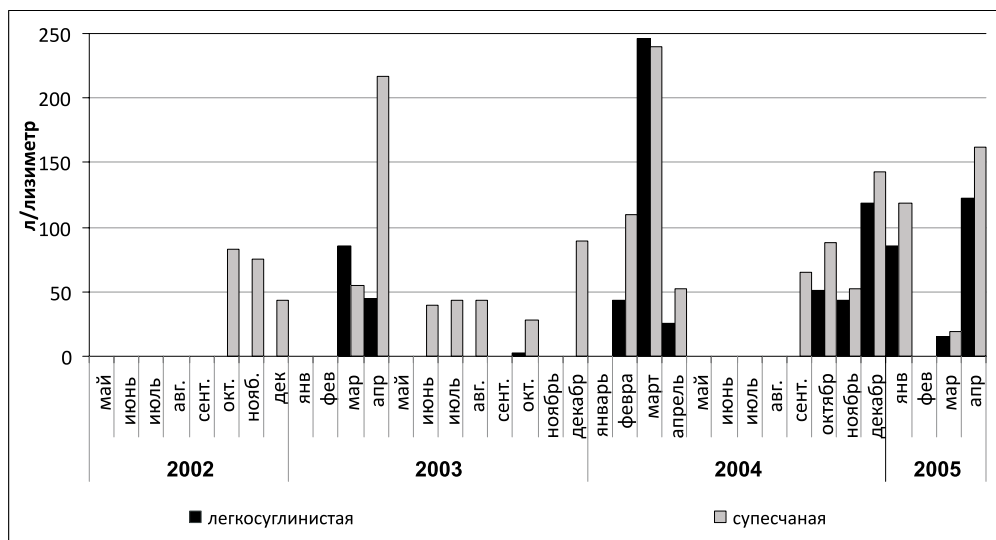


Рис. Количество профильтровавшейся влаги по профилю дерново-подзолистых почв (слой 1,0-1,5 м, среднее)

2. Плодородие почв и применение удобрений

Осенняя инфильтрация атмосферных осадков в 2002-2003 гг. началась с октября, а в 2004 г. с сентября. В отдельные годы (2004, 2005 гг.) в связи с погодными условиями (оттепели) инфильтрация наблюдалась в январе и феврале. Весенняя инфильтрация начинается с февраля или марта и заканчивается в апреле.

Известно, что почва состоит из твердой, жидкой и газообразной частей. Жидкая фаза почвы (почвенный раствор) это вода с растворенными газами, минеральными и органическими веществами, она находится в пленочной, капиллярной и гравитационной формах и передвигается под влиянием силы тяжести.

Минеральный состав воды отражает результат взаимодействия воды как физической фазы с другими фазами (средами): твердой, т. е. минеральной частью почвенных горизонтов; газообразной (с воздушной средой) и содержащейся в ней влагой и минеральными компонентами. Почвенный раствор, взаимодействуя с твердой и газообразной частями почвы, растворяет в себе минеральные и другие вещества, передвигаясь по законам гравитации вниз по профилю почв.

Изучение концентрации химических элементов в инфильтрационных водах является необходимым условием для установления уровня экологической нагрузки на окружающую среду и количественных потерь химических элементов при возделывании сельскохозяйственных культур.

Определенную роль в химическом составе лизата играют нитраты, образующиеся в процессе нитрификации (превращение нитрифицирующими бактериями аммонийных солей почвы в нитраты) в почве, которые легко растворимы в воде и могут легко вымываться гравитационными водами. Процесс нитрификации играет первостепенную роль в круговороте азота в биосфере и свидетельствует о завершении процесса минерализации в экосистеме.

В почвенном растворе дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы инфильтрация в 2002 г. с мая по декабрь отсутствовала, содержание NO_3^- в лизате в среднем за январь-апрель 2003 г. находилось в пределах от 5,2 до 20,2 мг/л, соответственно в 2003 (октябрь-декабрь)-2004 (январь-апрель) гг. – 6,2-33,9 и в 2004-2005 гг. – 4,5-14,5 мг/л.

В дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве инфильтрация атмосферных осадков наблюдалась и в 2002 г. с октября по декабрь, а в 2003 и 2004 гг. – с мая по декабрь. В зависимости от времени года и вариантов опыта содержание нитратного азота в лизиметрических водах изменялось в пределах – 17,4-33,7 (2002-2003 гг.); 4,9-32,4 (2003-2004 гг.) и 3,2-13,2 (2004-2005 гг.) мг/л. Установлено, что с увеличением атмосферных осадков и количества лизата (из лизиметров глубиной 1,0-1,5 м), концентрация NO_3^- в лизиметрических водах снижалась, что, по-видимому, связано с разбавлением концентрации почвенного раствора (табл. 9).

В варианте с внесением 63 кг/га д. в. карбамида содержание NO_3^- в инфильтрате на легкосуглинистой почве в среднем за январь-апрель-2003 г. составило 15,9 мг/л, за октябрь-декабрь 2003 г. – 26,1 и январь-апрель 2004 – 11,7 мг/л, соответственно в 2004 (октябрь-декабрь) и 2005 гг. (январь-апрель) – 9,8 и 7,3 мг/л. Увеличение дозы азота с 63 до 93 кг/га д. в. приводило к увеличению концентрации NO_3^- в инфильтрате на легкосуглинистой почве в среднем за январь-апрель 2003 г. на 4,3 мг/л (или на 27,0 %), за октябрь-декабрь 2003 г. – 7,8 (29,9 %) и январь-апрель 2004 г. – на 6,2 мг/л (53,0 %), соответственно в 2004 (октябрь-декабрь) – на 4,7 (48,0 %) и 2005 г. (январь-апрель) – на 6,3 мг/л (86,3 %).

Увеличение нитратов в инфильтрационных водах, с увеличением дозы азотных удобрений, выявлено и в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлыми песками, почве – за лизиметрический 2002-2003 гг., в зависимости от сезона года на 11,1 и 10,3 мг/л (или на 63,4 и 44,0 %), в 2003-2004 гг. – на 20,2, 6,7 и 4,7 мг/л (206,1, 26,1 и 31,8 %) и 2004-2005 гг. – на 8,6, 1,6 и 2,6 мг/л, (268,8, 21,1 и 25,2 %).

Таблица 9

**Содержание нитратов в лизиметрических водах
дерново-подзолистых почв, мг/л**

| Вариант | Содержание NO ₃ ⁻ , мг/л | | | | | | | | |
|--|--|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| | 2002-2003 гг. | | | 2003-2004 гг. | | | 2004-2005 гг. | | |
| | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке | | | | | | | | | |
| 1 | - | - | 5,2 | - | 19,8 | 6,2 | - | 6,8 | 5,5 |
| 2 | - | - | 11,6 | - | 28,2 | 6,5 | - | 4,9 | 4,5 |
| 3 | - | - | 15,9 | - | 26,1 | 11,7 | - | 9,8 | 7,3 |
| 4 | - | - | 20,2 | - | 33,9 | 17,9 | - | 14,5 | 13,6 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком | | | | | | | | | |
| 1 | - | 21,9 | 20,2 | 10,3 | 24,0 | 11,3 | 10,0 | 7,2 | 9,8 |
| 2 | - | 17,4 | 27,5 | 4,9 | 25,7 | 14,1 | 3,5 | 5,9 | 13,2 |
| 3 | - | 18,2 | 23,4 | 9,8 | 25,7 | 14,8 | 3,2 | 7,6 | 12,9 |
| 4 | - | 29,7 | 33,7 | 30,0 | 32,4 | 19,5 | 11,8 | 9,2 | 10,3 |

На долю нитратов в лизиметрических водах, во все годы исследований приходилось 95-100 % содержания общего азота.

Содержание аммония (NH₄⁺) в инфильтрате за исследуемый период, было невысоким и не превышало 0,77 мг/л (в среднем за лизиметрический год), что составляло максимум 5 % от общего азота.

В годы исследований не наблюдалось превышения ПДК нитратов (45 мг/л) и аммония (2,5 мг/л) в лизиметрических водах [32].

Потери химических элементов (кг/га) из почв с нисходящими токами влаги являются одной из расходных статей баланса, и имеют практическое значение в расчетах доз минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур.

Потери нитратного азота с лизиметрическими водами различались в зависимости от гранулометрического состава почв и доз применяемых азотных удобрений. В период исследований потери нитратного азота с лизиметрическими водами составляли: из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы за 2002-2003 гг. 0,02-3,08 кг/га, 2003-2004 гг. – 5,65-18,60 и 2004-2005 гг. – 6,90-16,85 кг/га; соответственно из супесчаной – 17,45-44,40, 19,60-38,50 и 11,53-15,07 кг/га в зависимости от вариантов опыта (табл. 10).

2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 10

Потери N-NO₃ при выщелачивании из дерново-подзолистых почв, кг/га

| Вариант | 2004-2005 гг. | | | 2003-2004 гг. | | | 2002-2003 гг. | | | Среднее за звено севооборота | | |
|--|-----------------|---------------|-------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------------|---------------|-------|
| | октябрь-декабрь | январь-апрель | сумма | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | сумма | май-сентябрь | октябрь-декабрь | | январь-апрель | сумма |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке | | | | | | | | | | | | |
| 1 | - | 0,02 | 0,02 | - | 0,09 | 5,80 | 5,89 | - | 4,25 | 3,70 | 7,95 | 4,62 |
| 2 | - | 2,56 | 2,56 | - | 0,05 | 5,60 | 5,65 | - | 3,55 | 3,35 | 6,90 | 5,04 |
| 3 | - | 3,08 | 3,08 | - | 0,11 | 9,95 | 10,06 | - | 4,85 | 4,80 | 9,65 | 7,61 |
| 4 | - | 2,59 | 2,59 | - | 0,70 | 17,90 | 18,60 | - | 7,30 | 9,55 | 16,85 | 12,70 |
| В среднем по опыту | - | 2,06 | 2,06 | - | 0,24 | 9,81 | 10,05 | - | 4,99 | 5,35 | 10,34 | 7,49 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7,05 | 10,40 | 17,45 | 2,78 | 4,00 | 12,80 | 19,60 | 0,94 | 4,50 | 6,60 | 12,14 | 16,40 |
| 2 | 12,10 | 15,30 | 27,40 | 1,26 | 7,10 | 19,30 | 24,10 | 0,53 | 3,45 | 7,55 | 11,53 | 21,00 |
| 3 | 13,60 | 16,30 | 29,90 | 2,18 | 5,20 | 14,70 | 22,10 | 0,56 | 5,20 | 7,80 | 13,66 | 21,90 |
| 4 | 18,30 | 26,10 | 44,40 | 7,10 | 10,40 | 26,20 | 38,50 | 2,82 | 4,45 | 7,80 | 15,07 | 32,70 |
| В среднем по опыту | 12,76 | 17,03 | 29,79 | 3,33 | 6,68 | 18,25 | 26,08 | 1,21 | 4,40 | 7,44 | 13,10 | 23,00 |

Повышение вносимой дозы минерального азота в 1,5 раза (с 63 до 93 кг/га д. в.) увеличило потери N-NO₃⁻ с инфильтратом, в среднем за звено севооборота: на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на 66,8 %, на рыхлосупесчаной – на 49,3 %.

В течение года наибольшие потери нитратного азота во всех исследуемых почвах происходят в ранневесенний период снеготаяния. Внесение органических удобрений (весна 2003 г.) не сказалось на количественных потерях нитратного азота с инфильтратом.

Потери аммонийного азота (N-NH₄⁺) с инфильтратом, по сравнению с N-NO₃⁻, в почвах разного гранулометрического состава незначительны. Например, в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве они достигают 0,35 кг/га или 5,8 % от общего азота, в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной – 0,94 кг/га или 3,0 %.

Для оценки тесноты связи между количеством профильтровавшихся осадков через слой почвы 1,0-1,5 м, и потерями нитратного азота с инфильтратом в различные периоды года использовался корреляционный анализ (коэффициент корреляции – r и коэффициент детерминации – d_{yx}).

Коэффициент корреляции между количеством потерь (кг/га) нитратного азота при выщелачивании и количеством лизиметрических вод находится в пределах от 0,75 до 0,94, а коэффициент детерминации – в пределах от 57 до 89 %, что свидетельствует о сильной их взаимосвязи (табл. 11).

Таблица 11

Коэффициент корреляции потерь нитратного азота к количеству профильтровавшихся осадков

| Почва дерново-подзолистая | 2002-2003 гг. | | 2003-2004 гг. | | | 2004-2005 гг. | | | r | d _{yx} (r ²) |
|---|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|------|-----------------------------------|
| | октябрь-декабрь | январь-апрель | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | май-сентябрь | октябрь-декабрь | январь-апрель | | |
| Количество профильтровавшейся влаги, л/лиз | | | | | | | | | | |
| Легко-суглинистая | - | 44,2 | - | 3,2 | 279,0 | - | 188,5 | 213,6 | - | - |
| Рыхлосупесчаная | 209,4 | 276,4 | 63,8 | 103,8 | 401,6 | 65,1 | 278,7 | 233,3 | | |
| Потери нитратного азота с лизиметрическими водами, кг/га | | | | | | | | | | |
| Легко-суглинистая | - | 2,06 | - | 0,24 | 9,81 | - | 4,99 | 5,35 | 0,94 | 0,89 |
| Рыхлосупесчаная | 12,76 | 17,03 | 3,33 | 6,68 | 18,25 | 1,21 | 4,40 | 7,44 | 0,75 | 0,57 |

Полученные данные свидетельствуют, что потери азота (сумма $N-NO_3^- + N-NH_4^+$) из дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы (1,0-1,5 м) значительно больше (в 2,15 раз) поступления его с атмосферными осадками. Нитратная форма азота очень подвижная и потери ее при выщелачивании превышают приход с атмосферными осадками на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2,1, а на рыхлосупесчаной почве – в 4,9 раза. В то же время выщелачивание ионов NH_4^+ существенно ниже на обеих почвах (0,35 и 0,94 кг/га) по сравнению с поступлением с осадками (12,1 кг/га), что указывает на преобладающее их поглощение почвой (табл. 12).

Таблица 12

Поступление $N-NO_3^-$ и $N-NH_4^+$ с атмосферными осадками и их потери при выщелачивании, кг/га

| Показатель | Поступление с атмосферными осадками | Потери при выщелачивании (max) | |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | | дерново-подзолистая | |
| | | легкосуглинистая | рыхлосупесчаная |
| $N-NO_3^-$ | 9,0 | 18,6 | 44,4 |
| $N-NH_4^+$ | 12,1 | 0,35 | 0,94 |
| Сумма | 21,1 | 18,95 | 45,34 |

Среднегодовая продуктивность звена севооборота (гречиха-картофель-посо) в опыте в вариантах с внесением $N_{63-93}P_{45}K_{95}$ составила (в среднем за три года) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 70,7-72,1 ц/га к. ед., на рыхлосупесчаной – 57,0-60,2 ц/га к. ед. (табл. 13).

Известно, что показатели баланса элементов питания, как система расчетов количественного поступления и расхода их в процессе питания растений за определенный промежуток времени, является важной агрохимической характеристикой и критерием оценки биологического качества сельскохозяйственной продукции,

2. Плодородие почв и применение удобрений

а также достаточно объективно прогнозируют уровень загрязнения окружающей среды.

Таблица 13

Продуктивность звена севооборота в лизиметрическом опыте, 2002-2004 гг.

| Вариант | Продуктивность, к. ед, ц/га | | | |
|--|-----------------------------|-----------|------|---------|
| | гречиха | картофель | посо | среднее |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке | | | | |
| 1. Контроль | 6,9 | 113,5 | 22,6 | 47,6 |
| 2. P ₄₅ K ₉₅ (фон) | 14,4 | 130,5 | 25,5 | 56,8 |
| 3. Фон + N ₆₃ | 17,1 | 160,9 | 38,4 | 72,1 |
| 4. Фон + N ₉₃ | 12,4 | 162,4 | 37,2 | 70,7 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком | | | | |
| 1. Контроль | 7,6 | 94,9 | 16,5 | 39,7 |
| 2. P ₄₅ K ₉₅ (фон) | 7,2 | 122,8 | 23,7 | 51,2 |
| 3. Фон + N ₆₃ | 8,3 | 139,2 | 33,1 | 60,2 |
| 4. Фон + N ₉₃ | 7,0 | 129,6 | 34,3 | 57,0 |

Важнейший показатель баланса – это его интенсивность, т. е. соотношение приходной части к расходной и выраженной в %. Оптимальный вариант баланса – это полное равновесие. Дефицитный баланс элементов питания, т. е. превышение расхода над приходом для состояния почвенного плодородия совершенно нежелателен. Соответственно, положительный баланс должен быть умеренным и регулируемым, поскольку это сопряжено с дополнительными материально-энергетическими издержками. Состояние баланса элементов питания отражает тенденции изменения плодородия почв и характеризует возможность повышения продуктивности земель. На современном уровне сельскохозяйственного производства рекомендуется поддерживать интенсивность баланса азота на пахотных почвах в пределах 100-120 % [33].

Расчет статей прихода и расхода азота (в среднем за три года по 2-м исследуемым почвам) в варианте с внесением полного минерального (N₆₃P₄₅K₉₅) и органического удобрения (20 т/га ОУ – среднегодовая доза органических удобрений в звене севооборота) показывает, что на долю прихода азота с органическими удобрениями приходилось 88 кг/га (47,5 %) от общей суммы его поступления, с минеральными удобрениями – 63 кг/га (34)%, с атмосферными осадками – 21,1 кг/га (11,4 %), от биологической фиксации – 10,0 (5 %) и с семенами – 3,0 кг/га (1,6 %).

Доля статей расхода азота составила: вынос с урожаем сельскохозяйственных культур звена севооборота – 113,3 кг/га (или 68,3 %), потери от выщелачивания – 14,8 кг/га (8,9 %) и газообразные потери – 37,8 кг/га (22,8 %).

Анализ данных баланса азота в 2002-2003 гг. показал, что интенсивность баланса в вариантах с полной дозой удобрений (вар. 3-4), находилась в пределах: на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве от 133 до 160 %, на рыхлосупесчаной – 124-133 %, соответственно в 2003-2004 гг. – 177-165 и 191-185 и 2004-2005 гг. – 62-62 и 64-75 % (табл. 14).

Интенсивность баланса азота в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, %

| Вариант | 2002*-2003 гг. | 2003*-2004 гг. | 2004*-2005 гг. |
|--|----------------|----------------|----------------|
| | гречиха* | картофель* | просо* |
| Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающейся на легком лессовидном суглинке | | | |
| 1. Контроль | - | 35 | 26 |
| 2. P ₄₅ K ₉₅ (фон) | 88 | 277 | 30 |
| 3. Фон + N ₆₃ | 133 | 177 | 62 |
| 4. Фон + N ₉₃ | 160 | 165 | 69 |
| Дерново-подзолистая супесчаная, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком | | | |
| 1. Контроль | 98 | 44 | 36 |
| 2. P ₄₅ K ₉₅ (фон) | 80 | 215 | 26 |
| 4. Фон + N ₆₃ | 124 | 191 | 64 |
| 5. Фон + N ₉₃ | 133 | 185 | 75 |

* Годы возделывания культур звена севооборота.

ВЫВОДЫ

1. С атмосферными осадками в среднем за год (2002-2005 гг.) поступало: общего азота – 21,1 кг/га, в том числе N-NO₃⁻ – 9,0, N-NH₄⁺ – 12,1 кг/га. Процент профильтровавшихся атмосферных осадков через слой 1,0-1,5 м дерново-подзолистых почв зависит от их гранулометрического состава и количества выпавших атмосферных осадков: в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве его величина составляла в засушливый год 2,7 %, в оптимальный по увлажнению – 20,5 %; в рыхлосупесчаной – 29,2 и 32,5 % соответственно.

2. Потери азота при выщелачивании определяются гранулометрическим составом почв, количеством выпавших и профильтровавшихся атмосферных осадков и дозами вносимых азотных удобрений, в частности из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы ежегодно выщелачивалось: N-NH₄⁺ – до 0,35 кг/га, N-NO₃⁻ – 0,02-18,6 кг/га, из супесчаной – N-NH₄⁺ – до 0,94 кг/га, N-NO₃⁻ – 11,53-44,4 кг/га.

3. Увеличение дозы внесения азота с 63 до 93 кг/га д. в. повышало потери нитратного азота при выщелачивании с инфильтрационными водами из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на 66,8 %; из рыхлосупесчаной – на 49,3 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Computer model for managing saline water for irrigatoin and crop growth: Preliminari testing with lysimeter data [Text] / A. Majeed [et al]. – Agricul. Water Manag, 1994. – №4. – P. 239-251.
2. Wuetal, L. Numerical and field evaluation of soil water sampled by suction lysimeters / L. Wuetal. – Journal of Envir Qual, 1995. – №1. – P.147-152.
3. Безлюдный, Н. Н. Потери азота на дерново-подзолистых почвах Белорусской ССР и способы их сокращения / Н. Н. Безлюдный, Т. Н. Малец, В. М. Ковтун – Агрохимия. – 1986. – №11. – С. 3-8.

4. Безлюдный, Н. Н. Миграция азота в профиле дерново-подзолистых почв БССР / Н. Н. Безлюдный, Т. Н. Денисов, А. К. Петрович / Агрохимия. – 1982. – №6. – С. 12-18.
5. Семененко, Н. Н. Запасы и распределение азота в дерново-подзолистых автоморфных и полугидроморфных почвах Белорусской ССР / Н. Н. Семененко // Докл. ВАСХНИЛ. – 1981. – №11. – С. 16-18.
6. Панников, В. Д. Лизиметрия – эффективный метод агрохимических исследований / В. Д. Паников. – Сельское хозяйство за рубежом. – 1980. – №8. – С. 2-13.
7. Шишов, Л. Л. Лизиметры в почвенных исследованиях / Л. Л. Шишов [и др.]; под ред. Л. Л. Шишова. – М., 1998. – 264 с.
8. Кореньков, Д. А. Агрохимия азотных удобрений / Д. А. Кореньков. – М.: Наука, 1976. – 184 с.
9. Семененко, Н. Н. Влияние способов применения азотных удобрений под картофель на песчаных почвах на баланс азота удобрений / Н. Н. Семененко // Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений: материалы Междунар. науч. — практ. конф. – Горки, 2001. – Ч.2. – С. 160-162.
10. Смирнов, П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N) / П. М. Смирнов. – М., 1982. – 74 с.
11. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, Н. В. Невмержицкий. – Минск: Хата, 1997. – 194 с.
12. Семененко, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Хата, 2003. – 162 с.
13. Ибрагимов, Н. А. Отрицательное влияние нерационального применения минеральных удобрений на окружающую среду / Н. А. Ибрагимов // Самаркандский СХИ. – Самарканд, 1991. – 16 с.
14. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень 1992 г.; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 1994. – С. 30-31.
15. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень 2003 г.; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2003. – С. 52-53.
16. Юшкевич, И. А. Поступление азота, фосфора и калия с атмосферными осадками в условиях Белоруссии / И. А. Юшкевич, Н. И. Туренков, И. А. Алексейчик // Почвоведение. – 1971. – №11. – С. 70-74.
17. Туренков, Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – Минск: Наука и техника, 1980. – 215 с.
18. Постников, А. В. Миграция биофильных элементов и их баланса в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах при различных системах применения минеральных удобрений / А. В. Постников, А. П. Смирнов, А. Л. Филиппов // Лизиметрические исследования в агрохимии, почвоведении, мелиорации и агроэкологии. – М.: Немчиновка, 1999. – С. 21-33.
19. Потери питательных элементов при инфильтрации атмосферных осадков из основных типов почв Среднего Поволжья / И. П. Бреус [и др.] // Агрохимия. – 1995. – №9. – С. 3-10.
20. Лизиметрический стационар Казанского госуниверситета / И. П. Бреус [и др.] // Агрохимический вестник. – 2003. – №2. – 13с.
21. Годовая динамика лизиметрического стока модельных дерново-подзолистых почв / А. Б. Умарова [и др.] // Лизиметрические исследования в агрохимии, почвоведении, мелиорации и агроэкологии. – М.: Немчиновка, 1999. – С. 183-187.

22. Варюшкина, Н. М. Трансформация азота различных видов органических удобрений в дерново-подзолистых почвах / Н. М. Варюшкина, М. В. Никифорова, М. М. Никитина // Бюл. ВИАУ. – М., 1988. – Т. 88. – С. 74-79.

23. Процесс денитрификации и потери азота из почвы / Е. Н. Мишустин [и др.] // Известия ТСХА. – 1965. – №3.

24. Головатый, С. Е. Газообразные потери азота на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве / С. Е. Головатый, Н. Д. Волкова // Почва – удобрение – плодородие: материалы Междунар. науч. — произв. конф. – Минск, 1999. – С. 93-94.

25. Кирпанева, Л. И. Характер вымывания подвижных форм азота из почвы / Л. И. Кирпанева, А. М. Варюшкина, Л. И. Романюк // Бюл. ВИАУ им. Д. Н. Прянишникова. – 1975. – №4. – С. 80-87.

26. Филимонов, Д. А. Влияние сельскохозяйственных культур на потери азота с лизиметрическими водами / Д. А. Филимонов, И. А. Лаврова, Е. В. Руделев // Бюл. ВИАУ им. Д. Н. Прянишникова. – 1975. – №25. – С. 66-69.

27. Левин, Ф. И. К вопросу о миграции элементов в дерново-сильноподзолистых почвах / Ф. И. Левин, Е. Н. Субботина // Повышение плодородия почв Нечерноземной полосы. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – Вып. 3. – С. 146-151

28. Fate of Azolla spp. and urea nitrogen applied to wetland rice (*Oryza sativa* L.) / I. Watanabe [and al.] // Biol. Fertil. Soils. – 1989. – Vol. 8, №2. – P. 102-110.

29. Khind, C. S. Effect of floodwater depth on ammonia volatilization loss from urea in flooded soil / C. S. Khind, A. Garg, M. S. Bajwa // Internat. Rice Res. Newsletter. – 1989. – Vol. 14, N1. – P. 23-24.

30. Scharf, P. C. Alley M. M. Nitrogen loss pathways and nitrogen loss inhibitors / P. C. Scharf // J. Fertil. Iss. – 1988. – Vol. 5, №4. – P. 109-125.

31. Муравин, Э. А. Использование растениями и потери меченого азота удобрений в последствии / Э. А. Муравин [и др.] // Плодородие. – 2003. – №5. – С. 18-20.

32. Сборник гигиенических нормативов по разделу коммунальной гигиены: Минск: ГУРЦГЭ и ОЗ МЗ РБ., 2005. – 96 с.

33. Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 2001. – 300 с.

NITROGEN MIGRATION AND BALANCE IN SOD-PODZOLIC SOILS WITH DIFFERENT LEVELS OF APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZER (ACCORDING TO THE DATA OF LYSIMETRIC RESEARCH «INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND ADROCHEMISTRY»)

G. V. Pirogovskaia, O. P. Sazonenko

Summary

The article addresses the receipt of nitrogen compound with atmospheric precipitation and its migration into sod-podzolic soils of different granulometric composition at different levels of nitrogen fertilizer.

Поступила 28 сентября 2011 г.

ЮБИЛЕИ

АКАДЕМИК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ СМЕЯН (К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



3 января 2012 года исполняется 80 лет со дня рождения выдающегося белорусского ученого-почвоведом, академика НАН Беларуси, Заслуженного деятеля науки Беларуси, лауреата Государственной премии БССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Николая Ивановича Смеяна.

Николай Иванович Смеян родился 3 января 1932 года в деревне Бабичи Речицкого района Гомельской области в большой и дружной семье крестьян. В 1953 году он поступил на биолого-почвенный факультет Белорусского государственного университета имени В. И. Ленина и окончил его в 1958 году по специальности почвоведение. После окончания университета его направляют на работу в Институт социалистического сельского хозяйства АН БССР, а в октябре этого же года переводят в институт почвоведения АСХН БССР, где он работал до последнего дня своей жизни, 12 октября 2007 года.

Круг его научных интересов был разносторонним, но особое внимание в своей научно-исследовательской деятельности Н. И. Смеян уделял генезису, географии, картографии почв, их классификации, качественной оценке, разработке путей и основ повышения их производительной способности, пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур, рациональному использованию и защите от деградации.

По результатам исследований в 1969 году он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Почвы Бельничского и Круглянского районов Могилевской области и пути их рационального использования», а в 1980 году – докторскую «Агропроизводственная группировка и районирование почв БССР в соответствии с их пригодностью под основные сельскохозяйственные культуры».

В 1980 году выходит в свет его монография «Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры». Здесь им разрабатывается новая схема генетической классификации почв Беларуси с характеристикой таксономических рангов от ряда до видов почв, дается обоснование разделения подзолистых почв на два типа (подзолистые и дерново-подзолистые), доказывающаяся необходимость разделения целинных дерново-подзолистых почв на подтипы собственно дерново-подзолистых и дерново-палево-подзолистых, а также нецелесообразность выделения среди подзолистых почв подтипа освоенных, устанавливаются видо-вые диагностические признаки освоенных и окультуренных дерново-подзолистых почв Беларуси. Выявлены количественные зависимости урожайности основных сельскохозяйственных культур от свойств почв, отражающих их типовые, подти-

повые и родовые различия; разработаны принципы общей региональной агропроизводственной группировки и составлена система группировок почв республики под отдельные культуры.

В последующие годы Н. И. Смяном разрабатываются и совершенствуются теоретические вопросы классификации почв, агропроизводственной группировки, почвенно-экологического районирования, установления степени пригодности почв под основные сельскохозяйственные культуры в целях оптимизации структуры посевных площадей и севооборотов. На основании результатов новых исследований в 1990 году Н. И. Смян издает свою вторую единоличную монографию «Почвы и структура посевных площадей», где излагается агрономическая характеристика почв пахотных земель; оценка их эффективного плодородия в количественных величинах при использовании под зерновыми культурами и картофелем; показаны лучшие и менее плодородные почвы, пригодные под эти культуры; дана группировка почв, отражающая степень пригодности каждой группы почв для выращивания указанных культур; определен рациональный набор сельскохозяйственных культур, способных наиболее полно использовать почвенное плодородие при формировании урожая; даны предложения по построению рациональной, отвечающей почвенным условиям, структуры посевных площадей и оптимизации севооборотов в республике.

Изучение теоретических вопросов диагностики, генезиса и классификации почв он всемерно использует при решении практических задач совершенствования методов крупномасштабной картографии и качественного учета почвенных ресурсов республики. Его разработки по группировкам и районированию почв Беларуси под основные сельскохозяйственные культуры находят широкое применение при установлении специализации и концентрации сельскохозяйственного производства, определении рациональной структуры посевных площадей в районах и областях республики. Подтверждением этому являются проведенные в республике три тура крупномасштабных почвенно-картографических исследований земель сельхозпредприятий, три тура землеоценочных работ и поучастковая кадастровая оценка.

Результаты научно-исследовательских, картографических и землеоценочных работ явились исходным информационным материалом для создания целого ряда карт по разделу «Почвы и земельные ресурсы» Национального атласа Беларуси (2002 г.).

На основании анализа современных мировых достижений в области установления классификационного положения почв, исторического анализа решения классификационной проблемы в республике, экспериментального материала, полученного в ходе многолетних научных исследований по углубленному изучению почвенного покрова республики и обобщению материалов крупномасштабного почвенного картографирования им в 2007 году издается монография «Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси» (соавтор Г. С. Цытрон), в которой впервые в систематизированном виде отображено все реально существующее разнообразие почв республики на современном уровне знаний и представлений о системно-классификационном их соподчинении с учетом природной и хозяйственной специфики региона. Эта работа в последующем была удостоена Премии Национальной академии наук Беларуси.

Общественная деятельность Н. И. Смяна также тесно связана с его специальностью почвоведом. Он 10 лет являлся председателем экспертного совета по

сельскому хозяйству БелВАК, членом бюро Межгосударственного совета по земельным ресурсам стран СНГ и их рациональному использованию, членом комиссии по классификации почв при Почвенном институте им. В. В. Докучаева, членом Центрального совета Всесоюзного общества почвоведов.

С именем Н. И. Смеяна связано создание в 1993 году на базе Белорусского отделения Всесоюзного общества почвоведов ОО «Белорусского общества почвоведов» (БОП), председателем которого он был до последних дней своей жизни.

Н. И. Смеян принадлежит к числу тех замечательных представителей научной мысли, которыми по праву может гордиться Беларусь. Его научная, организационная, педагогическая и общественная деятельность получила широкую известность не только на Родине, но и далеко за ее пределами, о чем свидетельствует включение его имени в книгу «2000 выдающихся ученых XX века», изданной Интернациональным биографическим центром (Кембридж, Англия, 2000 г.).

Во всех своих научных работах, рекомендациях, методиках и предложениях, которых у него насчитывается более 440, он решал проблемы максимального применения теоретических знаний о почвах в сельскохозяйственном производстве, практике картографических и землеоценочных работ нашей страны.

Научная школа, созданная им, гордо носит имя «Смеяновцы» и насчитывает более 20 докторов и кандидатов наук, которые продолжают воплощать в жизнь идеи своего учителя. Подтверждением тому является изданные в этом году (2011 г.) практическое пособие «Полевая диагностика почв Беларуси», посвященная его светлой памяти, рекомендации «Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур» и «Методические указания по созданию Почвенной Информативной Системы Беларуси», у истоков которых он стоял.

Научные же чтения, которые состоятся 3 января 2012 года в день его 80-летнего юбилея, в очередной раз говорят о том, что светлая память о Николае Ивановиче – друге и учителе – живет в сердце каждого из нас.

В. В. Лапа, Г. С. Цытрон

РЕФЕРАТЫ

УДК 631.452

Лапа В. В. Система управления плодородием почв в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 7–14.

Изложены основные направления системы государственного регулирования вопросов управления плодородием почв. Отмечены достижения и поставлены задачи на перспективу в системе агропочвенного мониторинга, известкования кислых почв, применения органических и минеральных макро- и микроудобрений.

Табл. 5. Рис. Библиогр. 2

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.582:6314.445.2

Черныш А. Ф., Устинова А. М., Юхновец А. В., Клус А. А. Влияние типов севооборотов на структурно-агрегатный состав дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47) – С. 15–22.

В статье приведены результаты сравнительной оценки различных типов почвозащитных севооборотов на структурно-агрегатный состав дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках. Выявлено, что возделывание галеги восточной в наибольшей степени способствовало увеличению противозрозионной устойчивости исследуемых почв. Насыщение севооборота зерновыми культурами до 60 % приводит к снижению водопрочности структуры исследуемых почв и отрицательно сказывается на показателях, характеризующих их противозрозионную устойчивость.

Табл. Рис. Библиогр. 5.

УДК 631.4

Цытрон Г. С., Шибут Л. И. Совершенствование системы поправочных коэффициентов для оценки земель в Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 22–30.

В результате работ по совершенствованию методики оценки сельскохозяйственных земель в Беларуси для очередного тура землеоценочных работ разработаны новые поправочные коэффициенты на генезис почвообразующих пород, новые оптимальные параметры агрохимических свойств почв, уточнены поправочные коэффициенты на эродированность и завалуненность почв, неоднородность почвенного покрова, климатические условия территории.

Библиогр. 25.

УДК 631.51:631.43:631.55

Цыбулько Н. Н., Ермоленко А. В., Лазаревич С. С. Влияние систем обработки на физические свойства дерново-подзолистых супесчаных почв и урожайность сельскохозяйственных культур // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 30–42.

На дерново-подзолистых супесчаных почвах разного увлажнения установлено, что систематическое применение безотвальной чизельной, поверхностной и минимальной систем обработки приводит к уплотнению автоморфной почвы на 0,03-0,09 г/см³, глееватой почвы – на 0,05-0,11 г/см³ по отношению к отвальной вспашке. Однако на безотвальной чизельной и минимальной обработках увеличение плотности не приводит к превышению верхней границы оптимума.

Дифференциация пахотного слоя наиболее выражена при безотвальных обработках и наблюдается в течение всего вегетационного периода, при отвальной вспашке проявляется от середины до конца вегетации. Различия в плотности почвы между слоями 0-10 и 10-20 см особенно выражены при поверхностной обработке – 0,18-0,22 г/см³.

На супесчаной автоморфной почве вспашка, безотвальная чизельная и минимальная обработки обеспечивают удовлетворительную аэрацию пахотного слоя – 50-53 %, поверхностная дисковая обработка – неудовлетворительную – 48 %. На супесчаной глееватой почве удовлетворительная пористость обеспечивается при отвальной и безотвальной обработках на глубину 20-22 см. Поверхностная и минимальная обработки приводят к ухудшению аэрации почвы в результате снижения пористости слоя 10-20 см.

На супесчаной автоморфной почве применение в течение 3-х лет минимальной системы обработки почвы обеспечивает повышение продуктивности звена севооборота на 3 ц/га зерновых единиц по сравнению с отвальной вспашкой, а система поверхностной дисковой обработки, наоборот, к достоверному (на 4,2 ц/га зерновых единиц) ее уменьшению. На полугидроморфной глееватой почве замена вспашки поверхностной и минимальной обработками приводит к существенному (на 3,4-3,7 ц/га зерновых единиц) снижению урожайности культур звена севооборота.

Табл. 6. Рис. Библиогр. 12.

УДК 631.459:681.518

Горбачёва Е. Н. Применение универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при оценке интенсивности водно-эрозионных процессов на основе ГИС // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 42–51.

В статье изложены основные результаты применения универсального уравнения потерь почвы от эрозии с использованием ГИС при оценке интенсивности водно-эрозионных процессов в условиях холмистого рельефа Минской возвышенности. Сделаны выводы о необходимости корректировки расчета факторов входящих в уравнение, а также определении оптимального разрешения матрицы высотных отметок рельефа для различных масштабов картографирования эрозионно-опасных почв.

Рис. 5. Библиогр. 6.

УДК 631.445

Лихацевич Н. А., Качков Ю. П., Черныш А. Ф. Типология дефляционноопасных земель Полесья и их использование // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 52–61.

В статье рассматриваются методические подходы типологии земель Полесья. Предлагается при проведении типологии земель использовать количественную оценку потенциальной дефляционной опасности почв. Определены основные критерии выделения типов земель, типология земель выполнена на примере СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района, осуществлено функциональное деление земель.

Табл. Рис. Библиогр. 8.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.872:631.445:631.8.022.3

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Мезенцева Е. Г., Бирюков Р. Н. Изменение фракционно-группового состава гумуса дерново-подзолистых легкосуглинистой и супесчаной почв под влиянием разных систем удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 62–70.

В условиях полевых опытов на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава изучено влияние различных систем удобрения на изменение показателей качества гумуса. Наиболее эффективным приемом, обеспечивающим протекание процессов гумусообразования в гуматном направлении, является применение органической и органоминеральной систем удобрения в сочетании с запашкой соломы.

Табл. 4. Рис. Библиогр. 11.

УДК 631.8.022.3:631.445.2:633.15

Серая Т. М., Бирюкова О. М., Богатырева Е. Н., Мезенцева Е. Г., Бирюков Р. Н. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 70–77.

На дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что при возделывании кукурузы на зеленую массу применение эквивалентных доз органических удобрений, получаемых на выходе биогазовой установки, аналогично влиянию органических удобрений, используемых для производства биогаза (куриный помет и жидкий навоз КРС), и минеральных удобрений внесенных в дозах, выровненных по азоту. Урожайность зеленой массы кукурузы в данных вариантах в среднем за два года была на уровне 550-562 ц/га. Удельный вынос питательных элементов с 1 т зеленой массы кукурузы (75 % влажности) в среднем составил: азота – 3,2 кг, фосфора – 1,5 кг, калия – 4,8 кг, кальция – 0,4 кг, магния – 0,4 кг.

Табл. 3. Библиогр. 10.

УДК 633.321:631.811:631.559

Лапа В. В., Ивахненко Н. Н., Ломонос М. М., Шумак С. М., Бачище А. А., Грачева А. А. Продуктивность и качество клевера лугового при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 78–87.

При возделывании клевера лугового на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что продуктивность его зависит от погодных условий, укоса и доз минеральных удобрений.

Урожайность зеленой массы клевера формировалась на уровне 505–693 ц/га, сена – на уровне 97,4–123,2 ц/га. Максимальная урожайность 693 ц/га, сбор сухого вещества 103,5 ц/га и сбор кормовых единиц 145,5 ц/га получены при применении $P_{70}K_{120}$ под клевер и внесении $N_{30}P_{70}K_{120}$ под предшественник – озимую рожь. Максимальная окупаемость 1 кг д. в. удобрений зеленой массой составила 58 кг и получена при применении системы удобрения $P_{40}K_{80}$.

В среднем за три года в варианте с оптимальной урожайностью удельный вынос с 1 т зеленой массы составил: азота 3,6 кг, фосфора – 1,0, калия – 6,5, кальция – 1,7, магния – 0,8 кг; и с 1 т сена: азота – 20,5 кг, фосфора – 5,6, калия – 36,7, кальция – 9,4, магния – 4,7 кг.

Табл. 6. Библиогр. 9.

УДК 633.32:631.445.2

Лапа В. В., Ломонос М. М., Кулеш О. Г., Лопух М. С., Ломонос О. Л. Продуктивность и кормовая ценность зелёной массы клевера лугового на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 87–96.

Приведены результаты исследований по изучению влияния различных доз фосфорных и калийных удобрений на урожайность и кормовую ценность клевера лугового при его подсеве под озимое тритикале. Установлено, что внесение фосфорных и калийных удобрений ($P_{60}K_{120}$) осенью под предпосевную культивацию на фоне последействия 40 т/га навоза КРС под озимое тритикале и весенняя подкормка клевера $P_{60}K_{140}$ явилось наиболее эффективной системой удобрения клевера лугового, обеспечившей получение 1153 ц/га зелёной массы с содержанием сырого белка 17,7 % и его сбором 25,9 ц/га.

Табл. 4. Библиогр. 10.

Удк 631.8.022.3:631.445.2

Рак М. В., Барашкова Е. Н. Эффективность борных удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур при разной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы бором // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 96–107.

В статье приведены результаты исследований по влиянию различных уровней содержания водорастворимого бора в дерново-подзолистой супесчаной почве, форм и доз борных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Экспериментальные данные показали, что эффективность форм и доз борных удобрений была различной и зависела от уровня обеспеченности почвы бором.

Табл. 7. Библиогр. 10.

УДК 631.81.095.337:633.63

Рак М. В., Титова С. А., Барашкова Е. Н. Влияние микроудобрений МикроСтим и МикроСил на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 107–112.

В полевых опытах с сахарной свеклой, возделываемой по интенсивным технологиям на дерново-подзолистых почвах, изучена эффективность некорневых подкормок новыми жидкими микроудобрениями МикроСтим и МикроСил. Установлено, что двукратная некорневая подкормка сахарной свеклы этими микроудобрениями способствует повышению урожайности корнеплодов на 23-42 ц/га, выхода сахара на 3,0-7,2 ц/га при рентабельности 80-112 %.

Табл. 2. Библиогр. 9.

УДК 631.461.5:631.445.2:631.836

Михайловская Н. А., Богдевич И. М., Погирницкая Т. В., Василевская О. В. Ферментативная активность дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы при разной обеспеченности подвижным калием // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 112–120.

Установлено, что наиболее благоприятные показатели дегидрогеназной, полифенолоксидазной, инвертазной и уреазной активности, а также высокая продуктивность сельскохозяйственных культур отмечаются при содержании в дерново-подзолистой супесчаной почве подвижного калия 196 мг/кг K_2O и внесении калийных удобрений в дозах K_{90-120} , а также при содержании подвижного калия в почве 288 мг/кг K_2O и внесении K_{60-120} . При содержании калия в почве около 390 мг/кг и более отмечается существенное снижение ферментативной активности, а также стабилизация или снижение продуктивности сельскохозяйственных культур.

Табл. Рис. 4. Библиогр. 17.

УДК 631.461.73:631.559:631.445.2

Михайловская Н. А., Миканова О., Барашенко Т. В., Тарасюк Е. Г., Дюсова С. В. Свойства фосфатмобилизирующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 120–129.

Изучены свойства фосфатмобилизирующих бактерий, установлена их способность стимулировать рост корневой системы и переводить в доступную для растений форму нерастворимый трикальцийфосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Способность к фосфатмобилизации и стимуляции роста корневой системы определяет положительное влияние внесения фосфатмобилизирующих бактерий на режим питания и урожайность сельскохозяйственных культур. Применение бактерий может способствовать устранению дефицита фосфора в критический период питания, в начале вегетации растений.

Установлена взаимосвязь эффективности фосфатмобилизирующих бактерий с содержанием подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых рыхло- и связно-супесчаных почвах. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве при содержании P_2O_5 на уровне 207 мг/кг наиболее обосновано применение фосфатмобилизирующих бактерий на фонах $\text{N}_{120}\text{K}_{90}$ и $\text{N}_{120}\text{K}_{90}\text{P}_{10}$, а при повышении содержания P_2O_5 в почве до 244 мг/кг – на фонах $\text{N}_{120}\text{K}_{90}$; при содержании P_2O_5 в пределах 286–394 мг/кг прибавки от фосфатмобилизирующих бактерий не достоверны. На дерново-подзолистой связно-супесчаной почве наибольший эффект от бактериализации отмечен на фонах $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$ при обеспеченности почвы подвижными фосфатами в диапазоне 200–400 мг/кг, прибавки зерна 4,3–4,7 ц/га, а на фоне $\text{N}_{60}\text{P}_{30}\text{K}_{90}$ прибавка от бактериализации, 3,6 ц/га, отмечается только при содержании 200 мг/кг P_2O_5 в почве. Внесение фосфатмобилизирующих бактерий при высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами нецелесообразно.

Табл. 3. Библиогр. 19.

УДК 631.438:631.445.2:633.13

Таврыкина О. М., Довнар В. А. Вынос радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы различными сортами овса // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 130–140.

Приводятся данные по урожайности сортов овса, удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в основной и побочной продукции, выносу ^{137}Cs и K , ^{90}Sr и Ca . Дается комплексная оценка пяти районированных и перспективных сортов овса при возделывании их на загрязненных радионуклидами территориях.

Табл. 3. Рис. 4. Библиогр. 15.

УДК 631.265:631.828:631.832

Головатый С. Е., Ковалевич З. С., Лукашенко Н. К., Ефимова И. А., Сидорейко Н. В. Влияние натрия и хлора на урожайность и химический состав райграса однолетнего // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 140–149.

Установлена разная степень фитотоксического действия натрия и хлора на урожайность райграса однолетнего в условиях натриевого, хлоридного и хлоридно-натриевого загрязнений дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Показано накопление в сене райграса однолетнего натрия и хлора при разных уровнях загрязнения ими почвы.

Установлены корреляционные зависимости между содержанием в почве натрия и содержанием в растениях райграса фосфора, калия и кальция.

Табл. 6. Библиогр. 11.

УДК 361.416.1:631.445.2:631.84

Пироговская Г. В., Сазоненко О. П. Миграция и баланс азота в дерново-подзолистых почвах при разных уровнях применения азотных удобрений (по данным лизиметрических исследований РУП «Институт почвоведения и агрохимии») // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 149–164.

В данной статье рассматриваются вопросы поступления соединений азота с осадками и его миграция в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава при разных уровнях применения азотных удобрений.

Табл. 14. Рис. Библиогр. 33.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 4.07.2005 №101 включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 22.02.2006 №2) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методика и объекты исследования, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А 4, но не менее 14 тыс. печатных знаков. Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге и на дискете 3,5S.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF. JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок по тексту должны быть написаны внутри квадратных скобок (например [1], [2]). Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

Ответственная за выпуск *Н.Ю. Жабровская*
Редактор и корректор *Т.Н. Самосюк*
Компьютерная верстка *А.В. Засулевича*

Подписано в печать 21.12.2011. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Усл. п.л. 12,03. Уч.-изд. л. 11,23. Тираж 150 экз. Заказ 691.

Отпечатано в Республиканском унитарном предприятии
«Информационно-вычислительный центр Министерства финансов
Республики Беларусь»
ЛП № 02330/0494120 от 11.03.2009.
220004, г. Минск, ул. Кальварийская, 17