

## ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ) В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

*А.Х. Куликова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,*

*Н.Г. Захаров, И.А. Вандышев, С.В. Шайкин,*

*А.В. Карпов, кандидаты сельскохозяйственных наук, доценты, Ульяновская ГСХА*

В современных городах и промышленных центрах накапливаются огромные количества осадков сточных вод, утилизация и размещение которых представляет серьезную, прежде всего, экологическую проблему. Скопление больших количеств осадков затрудняет работу очистных сооружений, загрязняет окружающую среду. Огромные массы этих отходов в жидком или обезвоженном виде часто выбрасываются в карьеры, овраги, низины, шламонакопители, моря и океаны. Захороненные таким образом осадки становятся потенциальным источником загрязнения почвы, воды и атмосферы.

ОСВ разных городов сильно различаются по составу, свойствам, воздействию на окружающую среду (почвы, грунтовые воды и т. д.), что обусловлено характером стоков и качественным разнообразием химических соединений, зависящему в том числе от срока хранения на иловых площадках.

С точки зрения возможности использования их в качестве удобрения важно содержание в них органического вещества и элементов питания. По многочисленным данным ОСВ могут содержать до 6 % – азота, 8 % – фосфора, 0,6 % – калия; органического вещества в переводе на углерод до 15 %, рНКС1 – 6,5 – 7,5; влажность составляет 70–82 %, зольность 35–80 % [7, 8, 12, 20, 5, 2, 22, 27]. Колебания по содержанию основных элементов питания составляют: по азоту – 0,8–6,0 %, фосфору – 0,6–4,8 %, калию – 0,1–0,6 % (табл. 1). Примерно такие же данные приводят ученые США и Канады: по азоту – 1,1–7,6, фосфору 1,3–8,0, калию 0,1–0,3 % [25].

Несомненным достоинством осадков сточных вод является высокое содержание в них органического вещества, которое может варьировать в пределах 40–75 %. Например, содержание органического углерода в ОСВ Московских станций аэрации составляло 12,6 % в пересчете на абсолютно-сухую массу [19], г. Курска – до 45–50 %, [5], г. Тамбова органического вещества – 26,4 % [11].

Важнейшим компонентом минеральных веществ осадков сточных вод является широкий набор микроэлементов [6, 15, 26]. Содержание микроэлементов может колебаться в достаточно широких пределах: меди – 50–4000, цинка – 70–40000, марганца – 60–4000, кобальта – 2–300 мг на 1 кг сухого вещества. Микроэлементы необходимы для нормального роста и развития растений [13].

Таким образом, по содержанию органического вещества и питательных элементов ОСВ с иловых карт не уступают традиционным органическим удобрениям, что определяет целесообразность их применения при возделывании сельскохозяйственных культур. В связи с этим использование ОСВ в земледелии рассматривается как одно из перспективных направлений их утилизации. Например, в странах европейского экономического сообщества используется в среднем 30 % накапливающихся осадков сточных вод, в том числе: в Люксембурге – до 90 % годового выхода ОСВ, Швейцарии – 70 %, Германии – 30 %, Франции – 23 %, Бельгии – 10 % и т.д. [21, 23]. При этом грамотная утилизация осадков в качестве удобрения считается наиболее экологически и экономически приемлемым методом [9, 17, 10].

В России и в мире имеются многочисленные положительные результаты использования осадков сточных вод в качестве удобрения. Например, в Курском СХИ [5] установлено, что применение ОСВ городских очистных сооружений в умеренных дозах способствует повышению содержания гумуса и биологической активности почвы, устойчивости растений к экстремальным условиям вегетации. При этом прибавка урожая зерна ячменя в производственном опыте от ОСВ в норме 20 т/га составила 38,9 % (41,7 ц/га против 33,9 ц/га в контроле), соломы – 52,6 % от контроля. Последствие ОСВ на 2-й год после внесения в почву в этих условиях оказалось также значительным: урожайность зеленой массы кукурузы составила 503 ц/га против 400 ц/га на контроле. Оптимальной нормой осадков под зерновые культуры являлась 20 т/га, под кукурузу – 40 т/га при внесении их под основную обработку. Внесение ОСВ в почву возможно один раз в 5 лет. По исследованиям автора осадки сточных вод оказались значительно эффективнее полного минерального удобрения ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ). Прибавка урожая ячменя от ОСВ достигала 13,2 ц/га против 4–6 ц/га от NPK.

По мнению Чеботарева Н.Т. (1999), ОСВ являются важным резервом органических удобрений в Московской области, по удобрительной ценности не уступающим и подстильному навозу. Однако, по его мнению, при удобрении сельскохозяйственных культур ОСВ можно применять лишь в норме не более 30 т/га один раз в 3 года. Такого же мнения придерживается Мерзлая Г.Е. (1995), полагая, что повторное приме-

Таблица 1. Основные агрохимические характеристики осадков сточных вод

| Характеристика                        | Осадки сточных вод           |  |   |
|---------------------------------------|------------------------------|--|---|
|                                       | слипших осадк.<br>г Влывалар | термически высушенных,<br>г Орск-Эркен | слипших осадков,<br>г Димитроград<br>(ЭН Костю) |
|                                       | (НТ Чебоксары)               |  |   |
| N обш., %                             | 0,6-1,7                      | 1,4-2,1                                | 2,39-2,62                                       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> обш., % | 1,6-2,5                      | 0,6-1,9                                | 2,7-4,8   |
| K <sub>2</sub> O обш., %              | 0,2-0,5                      | 0,1-0,3                                | 0,3-0,6   |
| pH осад.                              | 6,5-6,9                      | 11,2-12,2                              | 5,4-7,0   |
| Влажность, %                          | 40-50                        | 40-45                                  | 40-45   |
| Зольность, %                          | 60-70                        | 40-50                                  | 46,7-51,6                                       |

Таблица 2. Характеристики осадков сточных вод по уровню загрязненности (Сам-П-Н 21.7.573-96)

| Вид сточных вод  | Содержание в осадках<br>загрязняющих веществ,<br>мг/л | Удобрительная ценность<br>сточных вод   |
|--|---|---|
| <b>Первая группа</b><br>Сточные воды предприятий химической, текстильной, пищевой, фармацевтической, металлургической промышленности и др. | Азот >100<br>Фосфор >30<br>Кальций >70                | <b>Высокая</b><br>Требуются все элементы, разбавление в соотношении 1:10-1:20 с фосфором и калием       |
| <b>Вторая группа</b><br>Сточные воды предприятий пищевой, текстильной, фармацевтической промышленности и др.                               | Азот 50-100<br>Фосфор 10-30<br>Кальций 30-70          | <b>Средняя</b><br>Требуются все элементы НРК, все элементы, в разбавлении 1:10-1:20 с фосфором и калием |
| <b>Третья группа</b><br>Сточные воды предприятий текстильной, фармацевтической, пищевой промышленности и др.                               | Азот <100<br>Фосфор <30<br>Кальций <70                | <b>Низкая</b><br>Требуются все элементы НРК, все элементы, в разбавлении 1:10-1:20 с фосфором и калием  |

Таблица 3. Нормативные требования к содержанию загрязняющих веществ в осадках сточных вод (Сам-П-Н 21.7.573-96)

| Показатель                                       | Норма     | Метод  |
|--|-----------|--|
| Влага, % ос. осадок                              | 82        | ГОСТ 26713-86  |
| Органическое вещество, % ос. осадок              | 20        | ГОСТ 26714-85  |
| Кислотность, pH (KCl)                            | 5,5 - 8,5 | Методика определения кислотности осадков   |
| <b>Влажные осадки</b>                            |           |  |
| Свинец, мг/кг ос. осадок                         | 1000      | Атомно-абсорбционный метод   |
| Мышьяк, мг/кг ос. осадок                         | 20        | Атомно-абсорбционный метод   |
| Ртуть, мг/кг ос. осадок                          | 15        | Атомно-абсорбционный метод   |
| Кадмий, мг/кг ос. осадок                         | 30        | Атомно-абсорбционный метод   |
| Никель, мг/кг ос. осадок                         | 400       | Атомно-абсорбционный метод   |
| Хром, мг/кг ос. осадок                           | 1200      | Атомно-абсорбционный метод   |
| Марганец, мг/кг ос. осадок                       | 2000      | Атомно-абсорбционный метод   |
| Цинк, мг/кг ос. осадок                           | 4000      | Атомно-абсорбционный метод   |
| Медь, мг/кг ос. осадок                           | 1500      | Атомно-абсорбционный метод   |
| Копольмер, г ос. осадок                          | 0,01      | Одновременное определение содержания осадков методом спектрофотометрии № 1739-77, М., 1977 |
| Айдагепилитоз (живоископимость), шт              | 0         | Одновременное определение содержания осадков методом спектрофотометрии № 1739-77, М., 1977 |
| Патогенные микроорганизмы (по санитарным нормам) | 0         | Одновременное определение содержания осадков методом спектрофотометрии № 1739-77, М., 1977 |

нение осадков на тех же участках возможно не ранее, чем через 5-7 лет.

Воробьева Р.П. и др. (2000) считают, что ОСВ в почву можно вносить под кормовые, технические и зерновые культуры в дозах, равных подстилочному навозу до 80 т/га. Внесение ОСВ в норме 40 т/га показало, что в почве повышается микробиологическая активность и содержание НРК: как валовых, так и доступных их форм было выше на 10 %, чем на удобренном перегноем почвы и до 22 %, чем на удобренных землях. Аналогичные данные приводят Дурихина Н.В. и Курганова Е.В. (2001).

Peterson A.E., и др. (1992) считают, что ОСВ следует применять в нормах, не превышающих потребности кукурузы в азотных удобрениях.

Поликомпонентный состав осадков (в том числе присутствие тяжелых металлов), имеющий сезонную и годичную цикличность, предопределяет строго регламентированный подход к их применению с предварительным проведением масштабных агроэкологических исследований. Особенно это касается городов с населением более 1 млн. жителей: в первую очередь Москвы и Санкт-Петербурга, столиц республик, областей Поволжья, Урала и Западной Сибири. Необходимость получения агрохимических, агроэкологических и санитарно-гигиенических характеристик обусловлена действующими в Российской Федерации нормативными документами в области обращения со всеми видами отходов [14, 3, 18, 16]. Последние документы четко определяют требования как удобрительной ценности сточных вод, так и ограничения по содержанию тяжелых металлов (табл. 2 и 3).

Токсичность осадков сточных вод определяется в первую очередь наличием в них ионов тяжелых металлов, концентрация которых не должна выходить за пределы ПДК.

К тяжелым металлам (ТМ) относятся химические элементы с атомной массой более 40. Не все тяжелые металлы токсичны, так как в эту группу входят цинк, молибден, кобальт, марганец, получившие название микроэлементы (МЭ) и имеющие важное биологическое значение в жизни теплокровных и микроорганизмов. Поэтому микроэлементы и ТМ – понятия, которые относятся к одним и тем же элементам и различия между ними основаны на их содержании в объектах окружающей среды. Использовать понятие «тяжелые металлы» чаще всего принято по отношению к наиболее опасным для живых организмов элементам. К ним в первую очередь относятся ртуть, свинец, кадмий, никель, хром.

Фактором, ограничивающим норму внесения осадков сточных вод, являются не только ТМ, но и содержание в них общего и минерального азота. Не допускается внесение общего азота с осадком более 300 кг на 1 га, в том числе минерального азота, превышающего вынос годовым урожаем культуры, под которую вносится осадок [16].

Кроме тяжелых металлов в ОСВ концентрируется большое количество микроорганизмов, бактерий, вирусов, патогенных грибов и яиц гельминтов, в

связи с чем во всех странах предъявляют высокие санитарно-гигиенические требования к осадку и решают их использовать на удобрение лишь после эффективного обеззараживания. Хранение осадка в сточных водоемах менее одного года недостаточно для его обеззараживания, поскольку сальмонелла, например, сохраняется в осадке, а яйца гельминтов не теряют способность к заражению более двух лет [1]. Однако при более длительном хранении (не менее 3-5 лет) опасность заражения гельминтами практически отсутствует [5]. По СанПиН (2.1.7.573-96) для обеззараживания осадков сточных вод необходимо выдерживать их на иловых площадках в условиях:

- I и II климатических районов в течение не менее 3-х лет

- III климатического района – не менее 2-х лет

- IV климатического района – не менее 1 года

Сроки выдерживания ОСВ на иловых площадках уточняются экспериментальным путем научно-исследовательскими учреждениями государственной санитарно-эпидемиологической службы на основании результатов лабораторных исследований, свидетельствующих об отсутствии жизнеспособных яиц гельминтов (аскарид, власоглавы, анкилостомиды, онкосферы, тенииды, фасциолы).

Таким образом, главная задача, возникающая при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения, – не допустить загрязнения почвы и растениеводческой продукции веществами, ухудшающими здоровье человека и животных. Следовательно, необходим тщательный контроль содержания в осадке и почвах тяжелых металлов и патогенов при применении ОСВ в качестве удобрения. Последнее – основа для разработки рекомендаций по использованию ОСВ в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

В связи с вышеизложенным нами проводилось изучение эффективности использования осадков сточных вод Левобережья г. Ульяновска в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

### Условия и методы исследований

Исследования проводились на опытном поле Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии в 2000-2003 гг.

В качестве объектов исследований были выбраны осадки сточных вод с иловых карт очистных сооружений «Левобережье» г. Ульяновска 10-ти летнего хранения. ОСВ соответствовали требованиям СанПиН (2.1.7.573-96).

Для обоснования безопасных норм применения в 2000 году были проведены предварительные опыты с внесением ОСВ под кукурузу по следующей схеме: 1. контроль; 2. ОСВ 10 т/га; 3. ОСВ 20 т/га. Размер учетной делянки 50 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

Исследования в 2001-2003 гг. проведены на базе стационарного опыта кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии УГСХА по изучению систем основной обработки почвы в шестипольном зернопропашном севообороте: пар сидеральный (викоовсяная

смесь) – озимая рожь – кукуруза – яровая пшеница – горох – овес. Схема опыта включает 4 системы основной обработки почвы: отвальную (послеуборочное лущение стерни БДТ-7 на 8-10 см, отвальная обработка ПЛН-4-35 под сидеральный пар и горох на 25-27 см, кукурузу на 28-30 см, яровую пшеницу и овес на 20-22 см. Вариант принят за контроль), плоскорезную (послеуборочная поверхностная обработка комбинированным агрегатом КПШ-5+БИГ-3 на 8-10 см, плоскорезная обработка КПГ-2,2 на ту же глубину, что и в первом варианте), комбинированную в севообороте (послеуборочная поверхностная обработка КПШ-5+БИГ-3 на 8-10 см и безотвальная обработка плугом со стойкой СибИМЭ под сидеральный пар на глубину 25-27 см; лущение стерни БДТ-7 на 8-10 см и отвальная обработка ПЛН-4-35 под кукурузу и горох соответственно на 28-30 и 25-27 см; поверхностная обработка КПШ-5+ БИГ-3 на 8-10 см и плоскорезное рыление КПГ-2,2 под яровую пшеницу и овес на 20-22 см), поверхностную (послеуборочная двухкратная обработка комбинированным агрегатом КПШ-5+БИГ-3 под все культуры севооборота с интервалом 10-15 дней: первая на глубину 8-10 см, вторая – 10-12 см).

Полевой опыт заложен в трехкратной повторности, севооборот освоен в 1988 году. Посевная площадь делянки 350 м<sup>2</sup>, учетная 280 м<sup>2</sup>. Опыт позволяет расщеплять делянки и одновременно изучать способы заделки осадков сточных вод, место и кратность внесения в севообороте, а также их последствие.

В соответствии с рекомендациями СанПиН 2.1.7.573-96 и результатами предварительных опытов ОСВ вносили под сидеральную культуру и кукурузу по 30 т/га или 10 т/га севооборотной площади. При данной норме внесения количество тяжелых металлов не превышало предельно-допустимые уровни поступления их в почву с осадками сточных вод. Учетная площадь делянки с внесением ОСВ составляла 100 м<sup>2</sup>. Исходя из схемы опыта в первом варианте ОСВ заделывались плугом на глубину 28-30 см (кукуруза) и 25-27 см (викоовсяная смесь); во втором – поверхностно на 8-10 см с последующей основной обработкой плоскорезом КПГ 2,2 на соответствующую глубину; в третьем – комбинированно в севообороте: заделка плугом под кукурузу на 28-30 см и поверхностно на 8-10 см с основной обработкой плугом со стойкой СибИМЭ под сидерат; в четвертом – поверхностно на 8-10 см с основной обработкой плоскорезом на 10-12 см.

Возделывание культур осуществлялось на фоне минимального использования минеральных удобрений (30-40 кг д.в./га), заделывались пожнивно-корневые остатки и солома зерновых культур севооборота, химические средства защиты растений не применялись. Измельченная масса сидерата заделывалась двухкратной обработкой БДТ-7 на глубину 10-12 см.

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднесуглинистый. В 1999 году содержание гумуса в ней составляло 4,67-4,96%, обеспеченность подвижным фосфором по Чирикову 9,5-10,3 мг, калием – 8,0-8,6 мг на 100 г почвы.

Организация полевых опытов, проведение наблюдений, лабораторных анализов осуществлялись

по общепринятым методикам и соответствующим ГОСТам. Экономическую оценку применения ОСВ в качестве удобрения на фоне различных систем основной обработки почвы проводили по системе стоимостных показателей с использованием нормативов и расценок, принятых для производственных условий учхоза УГСХА; биоэнергетическую эффективность – по совокупным затратам энергоресурсов на возделывание и накоплению потенциальной энергии в урожае основной продукции. Данные результатов исследований подвергались математической обработке методами дисперсионного и корреляционного анализов.

Анализ динамики метеорологических элементов показал значительную их вариабельность (особенно по количеству осадков) с обострением засушливости в одни периоды и проявлением избыточного увлажнения – в другие, что приводило к уязвимости посевов и не позволяло полностью реализовать биологический потенциал возделываемых культур. Наибольшая годовая сумма осадков наблюдалась в 1999 году – 728 мм, наименьшая в 2002 г. – как за год (418 мм), так и за вегетационный период (за май – август 135 мм). Наиболее неблагоприятные условия перезимовки озимых наблюдались в декабре 2002 января 2003 гг.

При использовании ОСВ в качестве удобрения крайне важно определить норму их внесения. Она должна иметь выраженный агрономический эффект, быть экологически безопасной и экономически оправданной.

### Результаты исследований

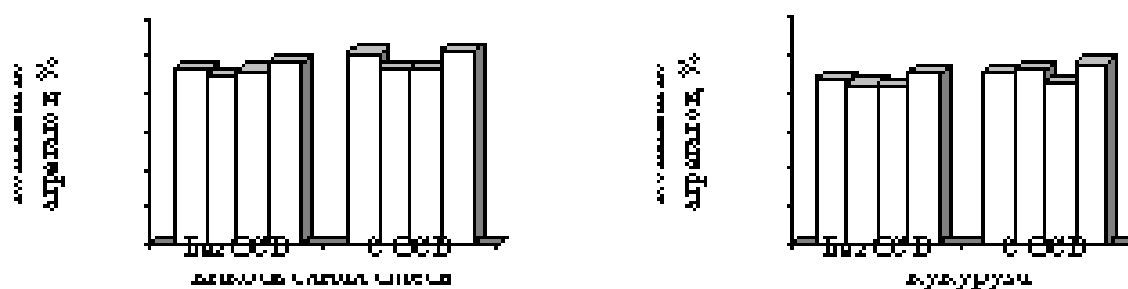
Предварительные полевые экспериментальные исследования показали, что внесение ОСВ в нормах 10 и 20 т/га приводит к достоверному повышению урожайности зеленой массы кукурузы на 8,7 и 12,6 % соответственно. При данных нормах использования осадков сточных вод в качестве удобрения практически не происходило накопления тяжелых металлов в продукции. Тем не менее при норме внесения 20 т/га наблюдалась тенденция повышения содержания в зеленой массе никеля на 6 % и хрома на 12 %. Однако количество их не превышало максимально-допустимые уровни содержания ТМ в кормах. Следовательно, применение ОСВ в норме до 20 т/га экологически относительно безопасно.

### Влияние ОСВ на свойства чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы (способов их заделки)

**Агрофизические параметры.** Наиболее значимыми показателями физического состояния почвы, определяющими в основном направленность микробиологических и физико-химических процессов в ней (и, следовательно, питательный режим), являются: плотность сложения, общее количество пор, соотношение капиллярной и некапиллярной пористости, а также структура почвы. Результаты исследований

Таблица 4. Плотность почвы гер ед по слоям структуры, г/см<sup>3</sup> (средняя за 2 года)

| Система обработки              | Слой пахоты, см |       |         |       |         |       |         |       |
|--------------------------------|-----------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|                                | 0-10            |       | 10-20   |       | 20-30   |       | 0-30    |       |
|                                | без ОСВ         | с ОСВ | без ОСВ | с ОСВ | без ОСВ | с ОСВ | без ОСВ | с ОСВ |
| Отвальная                      | 1,07            | 1,06  | 1,22    | 1,17  | 1,22    | 1,23  | 1,17    | 1,15  |
| Плоскоротная                   | 1,09            | 1,02  | 1,27    | 1,27  | 1,20    | 1,32  | 1,22    | 1,20  |
| Комбинированная с севооборотом | 1,12            | 1,05  | 1,14    | 1,16  | 1,15    | 1,20  | 1,13    | 1,14  |
| Поздняя вспашка                | 1,22            | 1,03  | 1,26    | 1,33  | 1,32    | 1,32  | 1,23    | 1,23  |



- основная обработка отвальная
- основная обработка плоскоротная
- основная обработка комбинированная с севооборотом
- основная обработка поздняя вспашка

Рис.1. Содержание агрохимических элементов агроэкотопов гер ед по слоям структуры в зависимости от систем основной обработки почвы и внесения ОСВ.

земля выщеложенного (табл. 4, рис. 1). Однако характер воздействия ОСВ на плотность сложения почвы в зависимости от способов их заделки различный: по отвальной системе основной обработки происходило разуплотнение почвы по всему пахотному слою, тогда как поверхностное их размещение приводило к значительному снижению плотности только в верхнем десятисантиметровом слое. В этом же слое наблюдалось улучшение структурного состояния. Таким образом, влияние осадков сточных вод на агрофизическое состояние почвы ограничивается слоем, куда они внесены.

**Биологическая активность и питательный режим.** Изменения в состоянии микробиоценоза в зависимости от систем основной обработки и внесения осадков сточных вод в почву изучались по интенсивности разложения клетчатки. В целом внесение ОСВ не привело к заметному изменению распада льняной ткани. По-видимому, относительно невысокое со-

на действенность целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Кроме того, возможно негативное влияние присутствующих в ОСВ тяжелых металлов на состояние почвенной биоты.

Тем не менее значительно более высокая биологическая активность по всему пахотному слою под посевами викоовса наблюдалась по отвальной системе обработки, которая в 1,3 раза превышала 2-й, в 1,4–3-й и в 1,6 раз 4-й варианты опыта.

Внесение ОСВ под викоовсяную смесь привело к увеличению содержания в пахотном слое азота на 32 % по отвальной системе основной обработки и от 8 до 18 % - по остальным вариантам; фосфора соответственно на 21 и 11-13 %; калия 22 и 12-13 %. Аналогичная закономерность наблюдалась и при возделывании кукурузы.

Таким образом, более сильное влияние на биологическую активность и питательный режим почвы оказала заделка осадков сточных вод плугом под



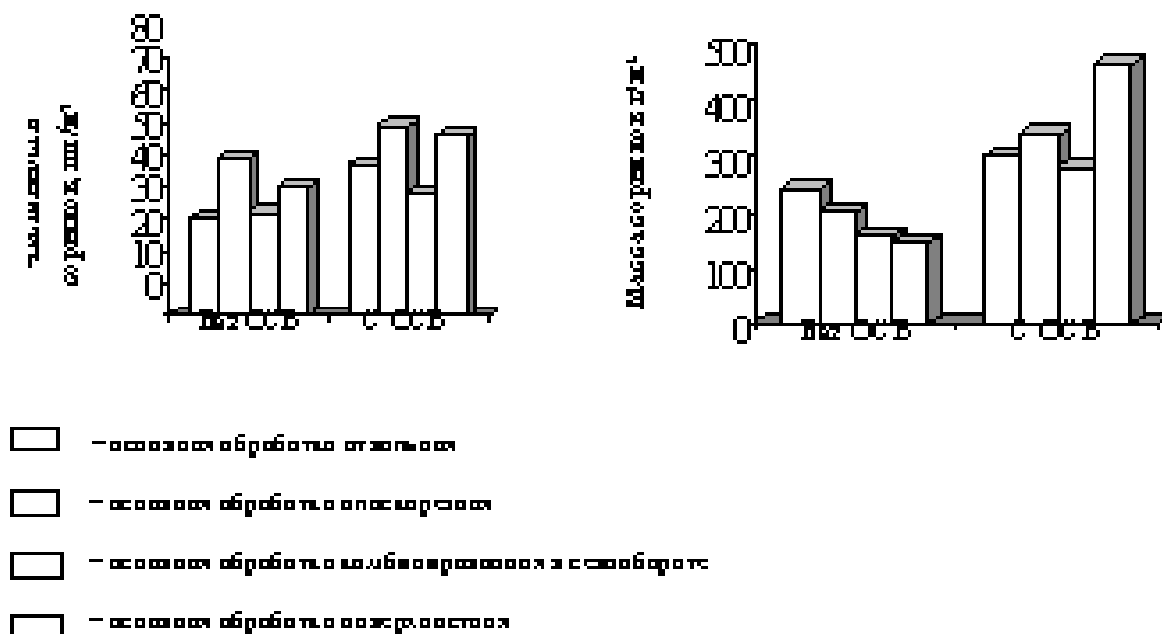


Рис. 2. За сорняковость посевов озимой ржи (средняя за 3 года).

**Засоренность посевов.** Анализ данных по учету количественного и качественного состава сорных растений показал, что замена отвальной обработки на плоскорезные и поверхностные приводит к увеличению засоренности и определенным изменениям в составе сорного компонента агрофитоценозов. При этом по плоскорезному фону, в т.ч. при минимализации обработки (4-й вариант), наблюдалось усиленное развитие более вредоносных трудноискоренимых сорняков: осота желтого (*Sonhus arvensis*), бодяка полевого (*Cirsium arvense*), вьюнока полевого (*Convolvulus arvensis*), овсяга обыкновенного (*Avena fatua*).

Применение ОСВ в норме 30 т/га не привело к усилению засоренности посевов культур, под которые они вносились. Однако в посевах озимой ржи (вторая культура после применения осадков сточных вод) засоренность увеличилась на 6-17 шт/м<sup>2</sup> по численности и на 58-319 г/м<sup>2</sup> по массе сорняков (рис. 2). Следовательно, на второй год после применения осадков сточных вод возможно увеличение количества сорняков в посевах последующих культур от 1,2 до 1,8 раз.

**Содержание тяжелых металлов.** Как уже отмечалось, осадки сточных вод г. Ульяновска по содержанию тяжелых металлов отвечают нормативным требованиям и при нормах внесения 10 и 20 т/га количество ТМ ни по одному элементу не превышает ПДУ поступления их в почву с ОСВ. Однако при применении их в норме 30 т/га возможно превышение предельно-допустимых уровней поступления в почву никеля (ПДУ - 1,0 кг/га, с 30 тоннами вносится 1,19 кг/га).

В среднем в пахотном слое количество ТМ по отдельным элементам достоверно увеличивалось или появлялась тенденция к накоплению их в почве. Например, валовое содержание меди в почве перед посевом викоовсяной смеси после внесения ОСВ по

мг/кг, тогда как без осадков 12,3 мг/кг; перед посевом кукурузы соответственно 13,2 и 12 мг/кг. Содержание подвижных форм свинца по этому же варианту увеличивалось на 16 %. Особого внимания к себе требует кадмий, содержание которого в черноземе выщелоченном без внесения ОСВ почти в 2 раза превышало ОДК, а при применении осадков появлялась тенденция к его накоплению.

В черноземе выщелоченном значимого увеличения подвижности ТМ в связи с внесением ОСВ не происходило. Тем не менее по плоскорезной системе обработки почвы наблюдалось заметное увеличение подвижности ТМ в почве как без внесения, так и с внесением ОСВ.

**Урожайность и качество зеленой массы кукурузы и викоовсяной смеси при применении ОСВ в качестве удобрения**

**Урожайность зеленой массы кукурузы и ее качество.** Сильное влияние на урожайность зеленой массы кукурузы в связи с ее биологическими особенностями оказывает система основной обработки почвы (табл. 5): урожайность по вспашке (1-й вариант, контроль) в среднем за 3 года была выше на 14,5 т/га, чем в варианте с плоскорезным рыхлением на ту же глубину (28-30 см) и на 12,9 т/га – с поверхностной обработкой. В отдельные годы (2001) разница в урожайности зеленой массы между 1-м и 2-м вариантами достигала 18,5 т/га. На этом фоне внесение осадков сточных вод привело к значительному достоверному повышению урожайности, прибавка ее в отдельные годы и по отдельным вариантам составляла от 3,4 до 16,4 т/га, а в среднем за 3 года от 5,4 до 9,1 т/га. При этом следует отметить, что прибавка от внесения ОСВ была выше по плоскорезному (в т.ч. поверхностному) фону, что обусловлено улучшением при этом как агрофизиче-



Таблица 7. Содержание концентрации тяжелых металлов в зеленой массе севооборотных культур (с сухим веществом, среднее за 3 года)

| Основная обработка            | Мг/г           |      |          |          |           |           |          |          |
|-------------------------------|----------------|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
|                               | N <sub>0</sub> | Zn   | Cu       | Pb       | Cd        | Ni        | Cr       |          |
| 6-я ОСВ                       |                |      |          |          |           |           |          |          |
| Отвальная                     | 154            | 133  | 401      | 0,31     | 0,14      | 1,42      | 0,61     |          |
| Плоскорезная                  | 145            | 136  | 426      | 0,31     | 0,15      | 1,69      | 0,83     |          |
| Комби-обработка в севообороте | 141            | 153  | 508      | 0,38     | 0,19      | 2,32      | 1,18     |          |
| Плоскорезная                  | 142            | 141  | 456      | 0,33     | 0,17      | 2,02      | 0,86     |          |
| С ОСВ 30 т/га                 |                |      |          |          |           |           |          |          |
| Отвальная                     | 176            | 145  | 411      | 0,35     | 0,20      | 1,68      | 1,07     |          |
| Плоскорезная                  | 175            | 153  | 485      | 0,39     | 0,23      | 2,11      | 1,19     |          |
| Комби-обработка в севообороте | 177            | 155  | 486      | 0,41     | 0,24      | 2,33      | 1,28     |          |
| Плоскорезная                  | 170            | 164  | 502      | 0,44     | 0,25      | 2,68      | 1,48     |          |
| НСР <sub>п</sub>              | I              | 4-11 | 0,25-1,3 | 0,24-0,5 | 0,03-0,17 | 0,02-0,12 | 0,12-0,3 | 0,04-0,1 |
|                               | II             | 5-16 | 1,05-1,8 | 0,35-0,7 | 0,05-0,24 | 0,02-0,17 | 0,26-0,4 | 0,05-0,2 |
| МДУ в мг/г                    | 200            | 50   | 30       | 5,0      | 0,3       | 3,0       | 0,5      |          |

I осадки сточных вод

II осадки основной обработки почвы

%). В отдельные годы разница при внесении ОСВ достигала 9-11 т/га (2001 г), что сравнимо с уровнем урожайности однолетних трав в среднем по области. Во все годы исследований урожайность викоовсяной смеси была выше при заделке ОСВ под вспашку на глубину 25-27 см и составила в среднем за три года 30,2 т/га, тогда как по плоскорезному (в т.ч. и по поверхностному) фону – на 4,3 т/га меньше.

Общее накопление элементов в растительной массе викоовсяной смеси при внесении осадков сточных вод повышалось: азота на 27-33 %, фосфора – на 18-32 %, калия – на 28-34 %. Наибольший возврат элементов питания в почву происходил по отвальной системе обработки почвы и составил 76 кг/га азота, 19 кг/га фосфора и 87 кг/га калия без внесения осадков сточных вод, а на фоне ОСВ – соответственно 98, 25 и 112 кг/га.

**Экологическая оценка продукции.** Результаты экологической оценки урожая возделываемых культур показали, что система основной обработки почвы является фактором, в значительной степени определяющим поступление тяжелых металлов в сельскохозяйственную продукцию как с внесением, так и без применения ОСВ в качестве удобрения. Наиболее эффективной системой основной обработки, способствующей снижению поступления тяжелых металлов в продукцию, являлась отвальная. По всем другим вариантам происходило большее поступление ТМ в растения (табл. 7). Например, при возделывании кукурузы свинца в зеленой массе по поверхностной обработке без внесения ОСВ накапливалось на 7 % больше, на фоне осадков сточных вод – на 26 %, кадмия соответственно на 21 и 25 %, никеля на 42 и 60 %, хрома на 41 и 38 % по сравнению с контролем.

Внесение осадков сточных вод приводило к по-

вышению накопления в зеленой массе как викоовсяной смеси, так и кукурузы в среднем: нитратов в 1,1-1,3 раза, цинка – в 1,1-1,2 раза, меди – в 1,1-1,2, свинца – в 1,1-1,3, кадмия – 1,3-1,5, никеля – в 1,2-1,3, хрома – в 1,4-1,8 раз. Однако содержание тяжелых металлов ни по одному элементу не превышало максимально-допустимые уровни поступления их в растительную продукцию. Тем не менее в связи с высокой подвижностью соединений кадмия и возможным превышением ПДУ поступления никеля в почву с ОСВ, эти два элемента являются наиболее опасными с точки зрения получения экологически безопасной продукции.

#### Последствие ОСВ в качестве удобрения

Урожайность и качество зерна озимой ржи и яровой пшеницы Озимая рожь по схеме севооборота размещается после сидерального пара, а яровая пшеница – после кукурузы. Как показали исследования, достоверная прибавка урожайности зерна озимой ржи в 2002 году от последствия ОСВ наблюдалась по плоскорезной и комбинированной в севообороте системам обработки почвы, соответственно на 14 и 10 %. На урожайности яровой пшеницы последствие осадков сточных вод проявилось в большей степени. Превышение ее в 2003 году по первому варианту составило 0,16 т/га (8 %), по второму – 0,24 т/га (17 %), третьему – 0,3 т/га (15 %) и четвертому – 0,43 т/га (41 %). На второй год после внесения осадки сточных вод практически не оказывали влияния на качественные показатели озимой ржи, но положительное последствие их на составе зерна яровой пшеницы проявлялось: содержание клейковины по второму и третьему вариантам основной обработки почвы повышалось на 1,0 и 0,7 %.



Однако на второй год отмечалось и негативное влияние осадков сточных вод на содержание нитратов и тяжелых металлов в продукции. По фону применения ОСВ содержание нитратов в зерне озимой ржи в зависимости от способов их заделки повышалось на 11-57 %. При этом наибольшее увеличение накопления нитратов в продукции наблюдалось при поверхностной заделке ОСВ: если без внесения осадков сточных вод количество нитратов в зерне было 30 мг/кг, то на фоне ОСВ по данному варианту – 47 мг/кг. Повышалось также содержание всех тяжелых металлов: цинка до 1,4 раза, меди – в 1,5-1,7 раз, свинца до 2,5 раз, кадмия в 1,9-2,4 раза, никеля – в 1,1-1,3 раза и хрома – 1,1-1,5 раз. Аналогичная закономерность, но в меньшей степени выраженная, наблюдалась при возделывании яровой пшеницы. Тем не менее содержание и нитратов, и ТМ ни по одному элементу не превышало предельно-допустимые концентрации их в зерновой продукции. Однако кадмий (как указывалось выше) остается наиболее проблематичным элементом, требующим безусловного контроля продукции растениеводства на экологическую безопасность при использовании ОСВ в качестве удобрения. В наших опытах содержание кадмия в зерне озимой ржи на фоне применения осадков сточных вод по отвальной обработке составляло 0,095 мг/кг, то есть только на 0,005 мг/кг меньше ПДК.

**Продуктивность звена севооборота.** В связи со значительным не только прямым положительным влиянием осадков сточных вод на урожайность возделываемых культур, но и выраженным последствием, представляет интерес общая продуктивность звена севооборота (озимая рожь, кукуруза, яровая пшеница).

Выход зерна с 1 га в звене севооборота соответствовала урожайности озимой ржи и яровой пшеницы и при внесении ОСВ изменялся незначительно. Однако по отвальной системе обработки почвы он был выше остальных вариантов на 9-24 % без внесения осадков сточных вод и на 9-21 % с применением ОСВ.

Более сильное влияние ОСВ оказали на выход кормовых и кормопротеиновых единиц (КЕ и КПЕ) с 1 гектара. При этом отвальная система основной обработки почвы обеспечила выход КЕ 5,14 т/га, тогда как плоскорезная система – 4,08 т/га, комбинированная в севообороте – 4,77 т/га, поверхностная – 4,16 т/га; соответственно сбор с 1 га КПЕ по звену севооборота составил 5,32; 4,22; 4,94 и 4,30 т/га.

Таким образом, расчеты общей продуктивности звена севооборота с учетом прямого действия и последствия ОСВ подтвердили, что наиболее эффективным способом внесения осадков сточных вод является заделка их плугом под основную обработку.

**Экономическая и энергетическая оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур с использованием ОСВ в качестве удобрения (на примере возделывания кукурузы)**

**Экономическая эффективность.** Анализ эф-

фективности технологий возделывания кукурузы с использованием ОСВ на фоне различных систем обработки почвы показал, что, несмотря на более высокие производственные затраты, в варианте с отвальной обработкой уровень рентабельности составил 127 %, по другим вариантам (2, 3, 4-й) соответственно 106, 121 и 112 %. В структуре затрат 55-61 % приходилось на уборку, транспортировку и уплотнение зеленой массы, 20-23 % - на внесение ОСВ.

Аналогичная закономерность сохранялась и при расчете экономической эффективности применения ОСВ в звене севооборота с учетом прямого действия осадков сточных вод и их последствия. Следовательно, экономически более целесообразным способом внесения осадков сточных вод в почву является заделка плугом под основную обработку.

**Биоэнергетическая оценка.** По мнению ряда авторов, только на энергетической основе возможна строгая количественная оценка функционирования агроэкосистем, в том числе оценка технологий возделывания культур и отдельных ее элементов.

Результаты исследований показали, что применение отвальной и комбинированной в севообороте систем обработки более энергетически эффективно как в вариантах с использованием ОСВ, так и без применения ОСВ. Несмотря на то, что по отвальной системе обработки наблюдались наиболее высокие в сравнении с другими вариантами затраты техногенной энергии (54,87 тыс. МДж/га без осадков сточных вод и 74,89 тыс. МДж/га с использованием ОСВ), этот вариант имел наиболее высокий коэффициент энергетической эффективности – 3,52 и 2,88 соответственно. Близок по значению данного показателя вариант с комбинированной в севообороте системой основной обработки – 3,45 и 2,79. По плоскорезной и поверхностной системам обработки почвы они составили 3,24 и 2,64; 3,37 и 2,71 соответственно.

Следует отметить, что при использовании осадков сточных вод затраты энергии по всем вариантам опыта были выше, чем и обусловлен более низкий энергетический коэффициент по сравнению с вариантами, где осадки не вносились. Последнее обусловлено дополнительными энергозатратами на транспортировку и внесение осадков сточных вод и большими затратами на уборку дополнительного урожая. Например, затраты энергии только на внесение ОСВ составляли 15,04 тыс. МДж/га.

Следовательно, энергетически более эффективной при использовании осадков сточных вод является отвальная система основной обработки почвы, которая на 3-8 % превышала остальные варианты.

## Выводы

1. Влияние осадков сточных вод на агрофизическое состояние почвы ограничивалось слоем, куда они внесены. Глубокая заделка их плугом (отвальная система обработки) создавала лучшие условия структурообразования и разуплотнения пахотного слоя. Размещение осадков поверхностно (плоскорезная и поверхностная системы обработки) приводило к улучшению физического состояния только верхнего 10-и сантиметрового

слоя почвы.

2. Более сильное влияние на биологическую активность и питательный режим почвы оказывала заделка ОСВ плугом. Содержание минеральных форм азота в пахотном слое при этом повышалось на 32 % и от 8 до 18 % - по остальным вариантам; подвижных форм фосфора и калия соответственно увеличивалось на 21 и 22 %, а по 2-му, 3-му и 4-му вариантам на 12-13 %.

3. Внесение осадков сточных вод в норме 30 т/га в первый год применения не приводило к увеличению засоренности почвы и посевов. На второй год после применения ОСВ возможно увеличение численности сорняков в посевах последующих культур от 1,2 до 1,8 раз.

4. При использовании ОСВ в качестве удобрения с нормой 30 т/га наблюдалось увеличение содержания тяжелых металлов в почве (по отдельным элементам на 18-21 %). Однако количество их, кроме кадмия, не превышало ПДК в почве. Валовое содержание Cd в черноземе выщелоченном без применения ОСВ было выше ОДК, что предполагает обязательный контроль растениеводческой продукции на накопление в ней данного элемента.

5. Прибавка урожайности зеленой массы кукурузы при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения в среднем за 3 года составила от 5,4 до 9,1 т/га (в отдельные годы от 4,0 до 16,8 т/га); викоовсяной смеси в качестве сидерата – от 5,9 до 7,5 т/га или повышалась на 30-36 %. При этом наибольшая урожайность сформировалась на фоне отвальной системы обработки почвы и составила в среднем за 3 года 52,6 т/га зеленой массы кукурузы и 30,2 т/га – викоовсяной смеси, что соответственно на 3,3-10,8 и 2,3-4,3 т/га превышает остальные варианты.

Осадки сточных вод в качестве удобрения обладают несомненным последствием: на второй год их внесения наблюдалась достоверная прибавка урожайности озимой ржи до 0,14 т/га (17 %) и яровой пшеницы до 0,43 т/га (41 %). Проявлялось положительное последствие ОСВ на качество зерна яровой пшеницы (содержание клейковины повышалось на 1 %).

6. Сбор белка с одного гектара при возделывании кукурузы с внесением ОСВ на фоне заделки плугом на 19 и 20 % превышал варианты с поверхностным

их размещением. При внесении осадков сточных вод общее накопление азота в викоовсяной смеси увеличивалось на 27-33 %, фосфора на 18-32 %, калия на 28-34 %. Возврат элементов питания в почву при этом составил: азота 81-98 кг/га, калия 95-112 кг/га, фосфора – 20-25 кг/га.

7. Применение осадков сточных вод в качестве удобрения приводило к существенному повышению накопления нитратов и тяжелых металлов в зеленой массе кукурузы и однолетних трав: нитратов в среднем в 1,1-1,3 раза, цинка и меди в 1,1-1,2 раза, свинца 1,1-1,3 раза, кадмия 1,3-1,5 раз, никеля в 1,2-1,3 раза. Содержание их в продукции по фону ОСВ было выше и на второй год. Однако количество и нитратов, и ТМ не превышало максимально-допустимые уровни содержания их в кормах. Для снижения поступления тяжелых металлов в продукцию при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения необходимо заделывать их плугом (отвальная система основной обработки почвы).

8. Продуктивность культур звена севооборота (озимая рожь, кукуруза, яровая пшеница) с учетом прямого действия и последствия осадков сточных вод по отвальной системе основной обработки почвы была выше остальных вариантов: по выходу зерна с одного гектара на 9-21 %, кормовых и кормопротеиновых единиц – на 7-21 %.

9. При использовании ОСВ в качестве удобрения сельскохозяйственных культур экологически, экономически и энергетически более эффективны технологии с заделкой их плугом под основную обработку почвы. При этом уровень рентабельности возделывания кукурузы составил 127 %, по другим вариантам 106-112 %; энергетическая эффективность была выше на 3-8 %.

## Литература

1. Благовещенская З.К. и др. Утилизация осадка городских сточных вод / З.К. Благовещенская, Н.К. Грачева, Л.С. Могиновид, Т. А. Тришина // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 10. – С. 73 – 76.
2. Воробьева Р.П. и др. Использование осадков сточных вод / Р.П. Воробьева, А.С. Давыдов, Л.Ф. Новикова, Е.А. Пивень, А.В. Шуравили // Агрехимический вестник. – 2000. – № 6. – С. 36– 37.
3. Временные правила охраны окружающей среды от отходов производства и потребления в Российской Федерации. – М.: Гидрометеиздат, 1994. – 127 с.
4. Дурихина Н.В., Курганова Е.В. Биологическая активность почв при применении осадков сточных вод // Бюл. ВИУА., 2001. – № 115. – С. 25.
5. Жукова Л.А. и др. Осадки сточных вод в качестве удобрения / Л.А. Жукова, А.Ф. Пехлецкая, А.Ф. Сулима // Химизация сельского хозяйства. – 1998. – № 10. – С. 35 – 39.
6. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва – растение» – Новосибирск: Наука. Сиб. отд. – 1991.
7. Касатиков В.А. и др. Влияние термофильноброженного осадка городских сточных вод на почву / В.А. Касатиков, В.Н. Попов, В.Е. Руник // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 2. – С. 51 – 52.

8. Касатиков В.А. Критерии загрязненности почвы и растений микроэлементами, тяжелыми металлами при использовании в качестве удобрения осадков городских сточных вод // *Агрохимия*. – 1991. – № 11. – С. 78 – 83.
9. Коренова Т.С. и др. Сельскохозяйственное значение утилизации осадков сточных вод как удобрения / Т.С. Коренова, Л.П. Гольдфарб, И.С. Туровский // *Водоснабжение и сантехника*. – 1979. – № 6. – С 4 – 6.
10. Курганова Е.В. и др. Комплексная оценка осадков сточных вод / Е.В. Курганова, О.А. Копейкина, Л.И. Гюнтер, С.Д. Беляева // *Агрохимический вестник*. – 1999. – № 3. – С. 38 – 40.
11. Максаков В.И. Экономическая эффективность использования осадков сточных вод // *Агрохимический вестник*. – 2000. – № 3. – С. 27 – 28.
12. Мерзлая Г.Е. Экологическая оценка осадка сточных вод // *Химия в сельском хозяйстве*. – 1995. – № 4. – С. 38 – 42.
13. Нечаева Г.Н. Некоторые особенности содержания и выноса микроэлементов озимой пшеницы // *Агрохимия*. – 1978. – №11. – С. 59 – 62.
14. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды: Справочный материал. – СПб., 1993. – 233 с.
15. Орлов Д.С., Садовникова Л.И. Нетрадиционные мелиорирующие средства и органические удобрения // *Почвоведение*. – 1996. – № 4. – С. 517 – 523.
16. СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения». – М.: Мин. здравоохранения РФ. – 1997. – 51 с.
17. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1982. – 121 с.
18. Федеральный классификационный каталог отходов (приложение к приказу Госкомэкологии России от 27.11.1997)
19. Чеботарев Н.Т. Влияние осадков сточных вод на плодородие дерново-подзолистой почвы // *Химия в сельском хозяйстве*. – 1997. – № 6. – С. 18 – 19.
20. Чеботарев Н.Т. Осадки сточных вод – на удобрение // *Агрохимический вестник*. – 1999. – № 5. – С. 39 – 40.
21. Baxter J.C. Heavy metal retention in cattle tissues from ingestion of sewage sludge // *Journal of Environmental Quality*. – 1982. – V. 11. – № 4. – P. 161 – 177.
22. Czekalo Jacek. Osady Sciewe zrodlem materii organicznej i skladnikow poka rmowych // *Folia Univ. adr. Stetin, Agr.* – 1999. – № 77. – P. 33 – 38.
23. Matthews P.J. et all. L'utilizzazione inagricultural die fraughi nei paesi della CEE / P.J. Matthews, M. Santori, L. Spinoso // *Agricole Ital.* – 1982. – № 516. – P. 289-304.
24. Peterson A.E. et all. Effects of 12 years of liquid digested sludge application on the soil phosphorus level / A.E. Peterson, P.E. Speth, R.B. Corey // *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* – Mineapolis, 1992. – P. 53.
25. Schfafer K., Kick H. Die nachwirkund von schwermetallhaltigen Abwasserklarschlamm in einem Feldversuchen Land wirtschaft. – Forsch, 1970. – Bd. 23. – №. 2. – P. 152 – 161.
26. Tlustos P. et all. Zinc and lead uptake bu three crops planted an different soils treated by sewage sludge / P. Tlustos, J. Balik, J. Szakova, P. Dvorak // *Rostl. V?roba*. – 2001. – 47. - № 3. – P. 129 – 134.
27. Костин В.И., Уханев Ю.А. Разработка технологии применения на удобрение просушенных осадков с иловых

УДК [633.22 «324»+633.16]:631.527(476)

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ВОЛЖСКИХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА БЕЛАРУСИ**

***Н.В. Тупицын, доктор с.-х. наук, профессор, ООО «НПЦ «Селекция», РФ,  
Н.Н. Петрова, кандидат биол. наук, доцент, С.В.Егоров, старший научный сотрудник,  
УО «Белорусская ГСХА», Республика Беларусь***

Успехи современной селекции, ее достижения в значительной степени зависят от почвенно-климатических условий. Известны случаи, когда высокопродуктивный сорт прекрасно реализует свой генетический потенциал в одном регионе, а в другом – показывает результаты намного ниже местных «средних» сортов.

В условиях Беларуси есть возможность получать наивысшие урожаи озимой пшеницы и ячменя, и именно здесь, как считал В.П.Кузьмин [2], можно быстрее

всего изучить лучшие заграничные образцы, как в отношении урожайности, так и качества зерна.

Поэтому сотрудниками Испытательной лаборатории качества семян УО «БГСХА» (Беларусь) заключен договор с ООО «НПЦ «Селекция» (Россия) о совместной деятельности. Целью исследований является проведение экологического испытания новых сортов для выделения адаптированных форм к почвенно-климатическим условиям, размножение перспективного материала с последующей передачей в