

# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## ИЗМЕНЕНИЕ БИОГЕННОСТИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ВЕРМИКОМПОСТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ЦЕОЛИТОВ\*

Л.П. Степанова<sup>1</sup>, Е.А. Коренькова<sup>1</sup>, А.В. Таракин<sup>1</sup>,  
Е.И. Степанова<sup>1</sup>, И.М. Тихойкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Орловский государственный аграрный университет  
*ул. Генерала Родина, 69, Орел, Россия, 302019*

<sup>2</sup>Орловский государственный институт экономики и торговли  
*ул. Октябрьская, 12, Орел, Орловская область, Россия, 302028*

Способность микроорганизмов чутко реагировать на малейшие изменения окружающей среды и высокая ферментативная активность позволяют использовать их для индикации состояния экосистем и оценки деградации токсичных соединений в них. Анализ микробоценозов различных типов питательных грунтов, сконструированных из отходов производства, природных цеолитов и почвы, свидетельствуют о том, что во всех видах питательных грунтов создаются оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов.

**Ключевые слова:** микробоценозы, отходы производства, вермикомпосты, питательные грунты, биоиндикация.

Стабильность и продуктивность техногенных экосистем в существенной степени зависят от интенсивности биологических процессов, протекающих в почвах.

Способность микроорганизмов чутко реагировать на малейшие изменения окружающей среды и высокая ферментативная активность позволяют использовать их для индикации состояния экосистем и оценки деградации токсичных соединений в них. Эта особенность микроорганизмов делает их незаменимыми в современных экологических исследованиях, особенно для ранней диагностики изменений, происходящих в экосистемах под воздействием токсичных веществ и их микробной трансформации [3].

### Методика исследований

Микробиологические исследования выполнялись во влажных и сухих образцах почвы по Д.Г. Звягинцеву [2]. В почве определяли общую численность колониобразующих единиц (КОЕ) основных физиологических групп микроорганиз-

---

\* Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 12-05-9751/12.

мов, которые учитывали классическими методами посева на твердые питательные среды: МПА (мясо-пептонный агар) — использующие органические формы азота (аммонификаторы); КАА (крахмало-аммиачный агар) — использующие минеральные формы азота, в том числе актиномицеты; среда Чапека с добавлением молочной кислоты — микроскопические грибы; среда Гетчинсона с фильтровальной бумагой — целлюлозоразлагающие микроорганизмы, в том числе бактерии, грибы, актиномицеты [4]. Интегральный показатель токсичности определялся методом биотестирования РД 118-02-90 Определение токсичности воды по жизнедеятельности дафний (*Daphnia magna*).

Наиболее распространенными способами исследования численности почвенных микроартропод следует признать методы автоматической выборки членистоногих из почвенных проб. Пробу почвы (5—1000 см<sup>3</sup>) помещают на сито, вставленное в воронку несколько большего диаметра. Под горлышко воронки подставляют сосуд с фиксирующей жидкостью — 70%-ным спиртом или 2%-ным формалином. При подсыхании пробы почвы, идущем интенсивнее сверху, мелкие членистоногие стараются уйти глубже. Проваливаясь сквозь ячейки сита, они попадают в сосуд с фиксирующей жидкостью, где их подсчитывают. Для ускорения подсушивания исследуемой почвенной пробы (или подстилки) применяют нагревание пробы лампой 40 Вт (нужно следить, чтобы температура поверхности почвы не поднималась выше 35—40 °С). Способ предложен шведским энтомологом Тульгреном. Приборы, используемые в этом методе, фототермоэлектроды — воронки Тульгрена, электроды Тульгрена [1].

### Результаты исследований

Под токсичностью понимают способность веществ вызывать нарушения физиологических функций живых организмов, которые приводят к интоксикации и гибели сначала отдельных клеток, а потом и всего организма, особенно в целом, если существо многоклеточное.

В задачу нашего исследования входила оценка токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов по жизнедеятельности дафний (*Daphnia magna*).

Класс опасности устанавливается по водной вытяжке, разведенной до такой степени, когда не проявляется вредное воздействие на биологические объекты.

Полученные результаты исследования степени токсичности водных вытяжек из изучаемых питательных грунтов показали изменения в жизнедеятельности дафний в зависимости от состава компонентов в питательном субстрате. Так, присутствие в грунтах шлаковых отходов крупных фракций (1—3 мм) обуславливает меньшее токсическое действие водных вытяжек на жизнеспособность дафний. Наличие в питательных грунтах шлаковых отходов более мелких фракций (менее 0,5 мм) обуславливает среднюю токсичность водных вытяжек, которая не изменяется с добавлением в грунты цеолитов и вермикомпостов. Жизнедеятельность организмов установлена во всех испытываемых грунтах при 32-кратном разбавлении водных вытяжек. Следует отметить, что водные вытяжки из почвы характеризуются как малотоксичные.

Таким образом, увеличение массовой доли шлака, цеолита, вермикомпоста в составе питательных грунтов и преобладание мелких фракций шлаковых отходов обуславливает 100%-ную жизнеспособность организмов при 32-кратном разведении водных вытяжек и средний уровень токсичности.

Изучение микробиологических свойств питательных грунтов, состоящих из гумусового горизонта темно-серой лесной почвы и сочетаний почвы с различными фракционными и массовыми добавками шлака, цеолита и вермикомпоста, показало, что в питательных субстратах идет изменение как общей численности микроорганизмов (колониеобразующие единицы на грамм субстрата — КОЕ/г) в сравнении с исходной почвой (табл. 1), так и изменение физиологических групп микроорганизмов. Установлено увеличение общей численности микроорганизмов при увеличении массовой доли шлака в составе питательных грунтов из почвы и шлака с  $110,1 \cdot 10^6$  КОЕ/г при соотношении компонентов (1 : 0,5) до  $133,7 \cdot 10^6$  КОЕ/г при увеличении массы шлака в 2 раза, что превышало общую численность организмов в исходной почве в 1,4 раза. В изменении состава физиологических групп микроорганизмов показано, что в гумусовом горизонте почвы преобладает численность микроорганизмов, использующих минеральный азот и сложные полисахариды (КОЕ на КАА), — 61,23% от общей численности, эта группа микроорганизмов в 1,6 раза превышает численность микроорганизмов, использующих доступное органическое вещество и органический азот (рост на МПА). При добавлении к почве шлаковых отходов фракции 1—3 мм отмечается при увеличении общей численности микроорганизмов уменьшение доли микроорганизмов, учитываемых на КАА, — 55,54% в грунте почва + шлак (1 : 0,5), и закономерный рост численности организмов, учитываемых на МПА, — 38,23%. Данное соотношение обусловило изменение коэффициента минерализации с 1,6 ед. в контроле до 1,26—1,29 при соотношении почва + шлак 1 : 0,5.

Таблица 1

**Общая численность микроорганизмов в питательных грунтах**

| Вариант                                     | Общая,<br>КОЕ · 10 <sup>3</sup> | Численность микроорганизмов, КОЕ · 10 <sup>3</sup> |       |        |                 |                 |           |                 |       |                     | КАА/<br>МПА |
|---------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-------|---------------------|-------------|
|                                             |                                 | МПА                                                | Чапек | КАА    |                 |                 | Гетчинсон |                 |       |                     |             |
|                                             |                                 |                                                    |       | общ.   | в т.ч.<br>бакт. | актино-<br>миц. | общ.      | в т.ч.<br>бакт. | грибы | акти-<br>но-<br>миц |             |
| Почва                                       | 98 149,6                        | 37 524                                             | 418,2 | 60 102 | 43 354          | 16 748          | 105,4     | 93,8            | 11,6  | —                   | 1,60        |
| Почва + шлак < 0,5<br>1 : 0,5               | 135 079,0                       | 77 602                                             | 923,5 | 54 740 | 48 300          | 6 440           | 172,7     | 168,7           | 4     | —                   | 1,29        |
| Почва+шлак 1—3<br>1 : 0,5                   | 110 096,4                       | 77 724                                             | 474,8 | 55 233 | 50 031          | 5 202           | 237,2     | 234,6           | 2,6   | —                   | 1,26        |
| Почва + цеолит +<br>шлак < 0,5<br>1 : 1 : 1 | 106 790,1                       | 61 299                                             | 501,7 | 44 835 | 37 338          | 7 497           | 154,4     | 149,5           | 3,4   | 1,5                 | 0,73        |
| Почва + цеолит +<br>шлак 1—3<br>1 : 1 : 1   | 114 875,3                       | 64 532                                             | 402,5 | 49 786 | 40 734          | 9 052           | 154,8     | 152,9           | 1,9   | —                   | 0,77        |
| Шлак < 0,5 + цеолит<br>1 : 1                | 120 558,4                       | 69 544                                             | 828   | 73 024 | 68 786          | 4 238           | 120,1     | 117,9           | 1,9   | 0,3                 | 1,07        |
| Шлак 1—3 + цеолит<br>1 : 1                  | 134 519,4                       | 69 795                                             | 853,5 | 71 402 | 68 920          | 2 482           | 130,1     | 129,7           | —     | 0,4                 | 1,05        |
| Шлак < 0,5 + цеолит<br>1 : 2                | 143 516,1                       | 57 822                                             | 620,2 | 61 982 | 58 822          | 3 160           | 184,2     | 183,7           | 0,5   | —                   | 1,05        |

| Вариант                                            | Общая,<br>КОЕ · 10 <sup>3</sup> | Численность микроорганизмов, КОЕ · 10 <sup>3</sup> |       |         |                 |                 |       |                 |       |                     | КАА/<br>МПА |
|----------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|-------|---------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-------|---------------------|-------------|
|                                                    |                                 | МПА                                                | Чапек | КАА     |                 |                 |       | Гетчинсон       |       |                     |             |
|                                                    |                                 |                                                    |       | общ.    | в т.ч.<br>бакт. | актино-<br>миц. | общ.  | в т.ч.<br>бакт. | грибы | акти-<br>но-<br>миц |             |
| Шлак 1—3 + цеолит<br>1 : 2                         | 142 180,6                       | 95 338                                             | 724,2 | 108 332 | 105 923         | 2 409           | 175,2 | 173,2           | 1     | 1                   | 1,02        |
| Цеолит + шлак < 0,5<br>+ вермикомпост<br>1 : 1 : 1 | 135 842,3                       | 61 152                                             | 446,9 | 74 088  | 58 743          | 15 435          | 155,4 | 139,2           | 16,2  | —                   | 1,21        |
| Цеолит + шлак 1—3<br>+ вермикомпост<br>1 : 1 : 1   | 135 337,1                       | 52 150                                             | 339,7 | 82 695  | 67 497          | 15 198          | 152,4 | 139,9           | 12,5  | —                   | 1,59        |
| Шлак < 0,5 + вер-<br>микомпост 1 : 2               | 145 777,3                       | 64 752                                             | 566,2 | 40 328  | 32 944          | 7 384           | 131,1 | 118,3           | 12,8  | —                   | 0,94        |
| Шлак 1—3 + верми-<br>компост 1 : 2                 | 160 433,5                       | 85 120                                             | 620,2 | 74 556  | 57 938          | 16 618          | 137,3 | 126,8           | 10    | 0,5                 | 0,88        |

Использование шлаковых отходов мелких фракций менее 0,5 мм в низких дозах (1 : 0,5) приводило к резкому увеличению общей численности микроорганизмов, в 1,4 раза превышающей численность микроорганизмов в контроле, и сбалансированности групп микроорганизмов, учитываемых на КАА и МПА, коэффициент минерализации в этом типе грунта составил 1,29 ед.

Использование мелиоративных и сорбционных свойств природных цеолитсодержащих трепелов приводит к изменению численности и соотношения физиологических групп микроорганизмов.

Добавление цеолита в состав грунтов обусловило увеличение общей численности микроорганизмов. При использовании фракции шлака менее 0,5 мм общее количество колониеобразующих единиц составило 106,8.

Изучение динамики численного состава бактерий, участвующих в минерализации азотсодержащих органических соединений и учитываемых на МПА, показало, что использование в составе цеолитовых добавок в сочетании со шлаком и почвой приводит к увеличению данной группы микроорганизмов в 1,5—1,6 раза по сравнению с контролем. Микроорганизмы (бактерии и актиномицеты), использующие минеральные формы азота и учитываемые на КАА, характеризуются меньшей устойчивостью к токсическому действию тяжелых металлов. Так, их доля в варианте почва + цеолит + шлак 1 : 1 : 1 с мелкой фракцией шлака составила 41,98% и 43,3% — с фракцией шлака 1—3 мм, что ниже по сравнению с контролем в 1,4 раза.

Значительные изменения в структуре микробного сообщества, формирующегося в данных питательных грунтах, приводят к замедлению скорости микробиологической минерализации органического вещества в них. Об этом свидетельствует уменьшение коэффициента минерализации органического вещества. Коэффициент минерализации в варианте почва + цеолит + шлак 1 : 1 : 1 составил 0,73 при добавлении фракции шлака < 0,5 мм, и 0,77 при добавлении крупной фракции шлака.

Интерес представляет изучение численности и состава микробоценозов в грунтах, состоящих из сочетаний различных фракций шлака с цеолитами в соотношении 1 : 1 и 1 : 2.

Общая численность микроорганизмов в грунте из шлака и цеолита в соотношении 1 : 1 составила  $120,5 \cdot 10^6$  КОЕ/г в варианте с мелкой фракцией шлака и  $134,5 \cdot 10^6$  КОЕ/г с фракцией шлака 1—3 мм, что выше контроля в 1,2—1,4 раза соответственно. Соотношение по физиологическим группам в данном варианте выровнено. Так, на долю микроорганизмов, учитываемых на МПА, приходилось 47,9—48,6% от общей численности, на долю микроорганизмов на КАА — 51,3—50,8%.

При увеличении массовой доли цеолита в составе грунта вдвое наблюдается некоторое увеличение общей численности микроорганизмов до  $143,5—142,1 \cdot 10^6$  КОЕ/г при сохранении аналогичной структуры микробсообществ. Коэффициент минерализации органического вещества в данных вариантах близок к единице.

Интерес представляет изучение грунтов, составленных из шлаковых отходов, вермикомпоста и цеолита в соотношении 1 : 1 : 1. Отмечается некоторое снижение общей численности микроорганизмов в среднем до 135,7 КОЕ/г. При этом соотношение физиологических групп указывает на увеличение интенсивности разложения органического вещества в данных грунтах. Так, в варианте с добавлением мелкой фракции шлака процентное соотношение групп микроорганизмов, учитываемых на МПА, к группам на КАА было 45,0% к 54,5%. Укрупнение размера фракции шлака приводит к уменьшению доли микроорганизмов, развивающихся на МПА, до 38,5% и закономерному увеличению доли микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, до 61,1%. Коэффициент минерализации составил 1,21—1,59 ед. соответственно.

Наиболее активные возбудители аммонификации белковых соединений в почвах известны среди родов *Pseudomonas* и *Bacillus*, поэтому наличие *Bacillus mycoides* в вариантах (почва, почва + шлак 1 : 0,5, шлак + цеолит + вермикомпост 1 : 1 : 1) является индикатором интенсивного разложения органического вещества.

Одним из показателей биологической активности грунтов может служить численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, учитываемых на питательной среде Гетчинсона. Чем выше в почве содержание подвижного азота и других элементов питания, тем активнее процессы окисления целлюлозы.

При добавлении в почву шлаковых отходов наблюдается увеличение численности микроорганизмов, разрушающих клетчатку. Так, в грунте из почвы и шлака 1 : 2 численность данной группы микроорганизмов максимальна и составила  $172,7 \cdot 10^3$  КОЕ/г в варианте с мелкой фракцией шлака, и  $237,2 \cdot 10^3$  КОЕ/г в варианте с фракцией шлака 1—3 мм, что превышало контроль в 1,6—2,3 раза. Изучение структуры микробсообществ в данном типе грунта показало, что в его составе, кроме целлюлозоразлагающих бактерий, присутствуют колониеобразующие единицы микроскопических грибов ( $4—2,6 \cdot 10^3$  КОЕ/г).

В грунтах из почвы и шлака с добавлением цеолита в различных массовых соотношениях численность микроорганизмов, учитываемых на среде Гетчинсона, примерно одинакова и колеблется от  $149,5 \cdot 10^3$  КОЕ/г в варианте почва + цеолит + шлак 1 : 1 : 1 до  $152,9 \cdot 10^3$  КОЕ/г в варианте с крупной фракцией шлака. Количество грибов составило 3,4—1,9  $\cdot 10^3$  КОЕ/г соответственно по вариантам.

В минеральных грунтах, составленных из шлака и цеолита, отмечается закономерное снижение целлюлозоразлагающей микрофлоры до  $120,1—130,1 \cdot 10^3$  КОЕ/г при соотношении компонентов 1 : 2 и  $111,2—125,2 \cdot 10^3$  КОЕ/г при соотношении шлака и цеолита 1 : 1. Развитие грибной микрофлоры в данном типе грунтов незначительно и составляет  $0,5—1 \cdot 10^3$  КОЕ/г.

Добавление органических веществ вермикомпоста в грунты из цеолита и шлака в массовом соотношении 1 : 1 : 1 обуславливает повышение численности данной группы микроорганизмов до  $152,4—155,4 \cdot 10^3$  КОЕ/г, что превышает контроль в 1,5—1,4 раза. Численность группы микроскопических грибов в данном типе грунта достигает  $16,2 \cdot 10^3$  КОЕ/г в варианте с мелкой фракцией шлака и  $12,5 \cdot 10^3$  КОЕ/г с фракцией шлака 1—3 мм, что выше контрольного значения на  $5,4—0,9 \cdot 10^3$  КОЕ/г.

Анализ микробсообществ различных типов питательных грунтов, сконструированных из отходов производства, природных цеолитов и почвы, свидетельствуют о том, что во всех видах питательных грунтов создаются оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов.

Исследованиями установлено, что внесение в почвенную среду больших количеств шлаковых отходов, цеолитов, вермикомпоста не оказывает негативного стрессового воздействия на аборигенные биоценозы, и более того, в искусственно сконструированных грунтах на основе цеолитов и шлаков создаются оптимальные условия для эффективной работы микроорганизмов, увеличения их общей численности и осуществления ими процессов преобразования соединений различных элементов и, как следствие, их концентрацию.

Таким образом, микробсообщества исследуемых питательных грунтов обуславливают развитие процессов, вызывающих аккумуляцию мигрирующих элементов — биологическое поглощение, микробиологическая минерализация органических и органоминеральных форм мигрирующих веществ с выпадением минерального компонента соединений, изменение ОВ-условий, щелочно-кислотной среды — и формируют участки биогеохимических барьеров.

В практике современного земледелия, сопровождающейся коренной перестройкой специфики метаболизма и функциональной деятельности микроорганизмов, важное значение приобретают приемы биохимического окультуривания почв. В этом отношении роль вермикомпоста как органо-минерального удобрения резко повышается, так как благодаря высокой микробиологической активности вермикомпосты улучшают питательные свойства утилизируемых органических отходов, и повышает продуктивность почв.

Микробиологический анализ вермикомпостов, полученных из субстратов на основе отходов производства (табл. 2), показал, что численность и групповой состав микроорганизмов зависит от состава и свойств компонентов, входящих в состав субстратов для вермикомпостирования.

Сочетание в субстрате лузги гречихи с дефекатом, шлаком и цеолитом в значительной степени обусловило изменение микробиологических свойств вермикомпостов.

**Численность микроорганизмов в вермикомпостах  
на основе отходов производства**

| Наименование образца                                       | Численность микроорганизмов в вермикомпостах ( $10^3$ КОЕ/г абсолютно сухого вещества) |                                             |             |                                         |                 |             |                       |        | Общее количество микроорганизмов | К <sub>мин</sub> |              |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|--------|----------------------------------|------------------|--------------|
|                                                            | использующие органические формы азота на МПА                                           | использующие минеральные формы азота на КАА |             | целлюлозоразрушающие на среде Гетчисона |                 |             | грибы на среде Чапека |        |                                  |                  |              |
|                                                            |                                                                                        | общее                                       | в том числе |                                         | общее           | в том числе |                       |        |                                  |                  |              |
|                                                            |                                                                                        |                                             | бактерии    | актиномицеты                            |                 | бактерии    |                       | грибы  |                                  |                  | актиномицеты |
| Лузга гречихи + дефека + шлак (60 : 20 : 20)               | 226 872<br>44,44 *                                                                     | 278 384<br>54,53                            | 195 636     | 82 748                                  | 5 055,3<br>0,99 | 643,9       | —                     | 4411,4 | 210,1<br>0,04                    | 510 521,4        | 1,23         |
| Лузга гречихи + дефека + шлак + цеолит (40 : 35 : 15 : 10) | 283 880<br>47,38                                                                       | 307 839<br>51,38                            | 225 292     | 82 547                                  | 7 164,0<br>1,19 | 694,6       | 11,6                  | 6457,8 | 258,7<br>0,04                    | 599 141,7        | 1,08         |

\*В знаменателе — % от общей численности КОЕ.

Так, наибольшая численность физиологических групп микроорганизмов установлена в вермикомпосте на основе лузги гречихи, дефеката, шлака и цеолита —  $599\,141,7 \cdot 10^3$  КОЕ/г. Численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, была практически одинаковой с численностью микроорганизмов, использующих доступное органическое вещество (КОЕ на МПА). Данное соотношение обусловило значение коэффициента минерализации близкое к единице — 1,08. В вермикомпосте на основе лузги гречихи, дефеката и шлака общая численность микроорганизмов незначительно снижается, но соотношение групп микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, и микроорганизмов, использующих органические формы азота, увеличивается, что подтверждается увеличением коэффициента минерализации до 1,23.

В вермикомпостах на основе лузги гречихи, дефеката, шлака (60 : 20 : 20), и особенно в вермикомпосте из лузги гречихи, дефеката, шлака и цеолита (40 : 35 : 15 : 10) установлена уравновешенность процессов минерализации синтеза органических веществ.

Исследование некоторых групп микроорганизмов в вермикомпостах на основе лузги гороха в сочетании с различными органо-минеральными компонентами показало, что самая наивысшая численность микроорганизмов установлена в вермикомпосте из субстрата на основе лузги гороха в сочетании с дефекатом, цеолитом и шлаком (40 : 35 : 10 : 15) —  $447,14 \cdot 10^6$  КОЕ/г. Численность микроорганизмов, использующих минеральный азот и сложные полисахариды как источник углерода (КОЕ на КАА), составила 53,75% от общего количества микроорганизмов и была на 8,2% выше численности микроорганизмов, использующих органический азот и доступное органическое вещество. Величина коэффициента минерализации

равнялась 1,18. Общее количество микроорганизмов было на  $151,99 \cdot 10^6$  КОЕ/г меньше численности микроорганизмов в вермикомпосте, полученном на основе лузги гречихи с тем же составным компонентом, в 1,3 раза снижается количество микроорганизмов, использующих минеральный азот, и в 3 раза уменьшилось количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 3

**Численность физиологических групп микроорганизмов в вермикомпостах на основе лузги гороха, ОСВ, дефеката, шлака, цеолита**

| Наименование образца                                       | Численность микроорганизмов в вермикомпосте<br>( $10^3$ КОЕ/г абсолютно сухого вещества) |                                             |             |              |                                         |             |       |                       | Общее количество микроорганизмов | $K_{\text{мин}}$ |              |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------------------|-------------|-------|-----------------------|----------------------------------|------------------|--------------|
|                                                            | использующие органические формы азота на МПА                                             | использующие минеральные формы азота на КАА |             |              | целлюлозоразрушающие на среде Гетчисона |             |       | грибы на среде Чапека |                                  |                  |              |
|                                                            |                                                                                          | общее                                       | в том числе |              | общее                                   | в том числе |       |                       |                                  |                  |              |
|                                                            |                                                                                          |                                             | бактерии    | актиномицеты |                                         | бактерии    | грибы |                       |                                  |                  | актиномицеты |
| Лузга гороха + ОСВ + шлак (60 : 20 : 20)                   | 217 952<br>54,31*                                                                        | 179 773<br>44,80                            | 135 293     | 44 480       | 3 327,7<br>0,83                         | 86,9        | 74,6  | 3 166,2               | 226,2<br>0,06                    | 401 278,9        | 0,82         |
| Лузга гороха + дефекат + цеолит + шлак (40 : 35 : 10 : 15) | 203 699<br>45,56                                                                         | 240 351<br>53,75                            | 184 671     | 55 680       | 2 869<br>0,64                           | 2 325       | 81    | 463                   | 225,4<br>0,05                    | 447 144,4        | 1,18         |

\*В знаменателе — % от общей численности КОЕ.

Вермикомпост на основе лузги гороха в сочетании с осадком сточных и шлака (60 : 20 : 20) имел почти такую же общую численность микроорганизмов, но численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, в этом компосте была в 1,3 раза ниже численности этой группы микроорганизмов в вермикомпосте из семенных оболочек гороха, дефеката, шлака и цеолита. Численность микроорганизмов, использующих органические формы азота, немного увеличивалась. Также изменение в соотношении физиологических групп микроорганизмов обусловило снижение величины коэффициента минерализации до 0,82 ед.

Анализ данных микробиологического анализа показал, что в вермикомпостах с добавлением к лузге гороха осадка сточных вод, шлака, дефеката и цеолита количество легкодоступного органического вещества снижается. Однако по соотношению физиологических групп микроорганизмов эти два вида вермикомпостов характеризуются сбалансированным микробным сообществом ( $K_{\text{мин}} = 0,82—1,18$ ) по численности аммонификаторов ( $\text{КОЕ}_{\text{МПА}}$ ) и автохтонных микроорганизмов ( $\text{КОЕ}_{\text{КАА}}$ ).

Проведенные нами исследования по установлению влияния шлака, цеолита, жома, лузги гречихи в составе органоминеральных субстратов вермикомпостирования показали, что численность бактерий — аммонификаторов, участвующих в аммонификации белков и полипептидов, изменяется в зависимости от качественного состава субстрата (табл. 4).



**Численность микроорганизмов в вермикомпостах на основе жома, лузги гречихи, шлака, цеолита**

| Наименование образца                        | Численность микроорганизмов в вермикомпостах ( $10^3$ КОЕ/г абсолютно сухого вещества) |                                             |                  |                 |                |                                         |       |              |               | Общее количество микроорганизмов | К <sub>мин</sub> |                       |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------------|-------|--------------|---------------|----------------------------------|------------------|-----------------------|
|                                             | использующие органические формы азота на МПА                                           | использующие минеральные формы азота на КАА |                  |                 |                | целлюлозоразрушающие на среде Гетчисона |       |              |               |                                  |                  | грибы на среде Чапека |
|                                             |                                                                                        | общее                                       | в том числе      |                 | общее          | в том числе                             |       |              |               |                                  |                  |                       |
|                                             |                                                                                        |                                             | бактерии         | актиномицеты    |                | бактерии                                | грибы | актиномицеты |               |                                  |                  |                       |
| Лузга гречихи + жом + шлак (25 : 50 : 25)   | 164 970<br>43,78*                                                                      | 210 708<br>55,92                            | 142 980<br>37,95 | 67 728<br>17,97 | 560,9<br>0,15  | 551,2                                   | 1,3   | 8,4          | 538,2<br>0,15 | 376 777,1                        | 1,28             |                       |
| Лузга гречихи + жом + цеолит (25 : 50 : 25) | 372 319<br>43,57                                                                       | 480 480<br>56,23                            | 392 380<br>45,92 | 88 100<br>10,31 | 1434,3<br>0,17 | 1 319,5                                 | 32,2  | 82,6         | 325,1<br>0,03 | 854 558,4                        | 1,29             |                       |

\*В знаменателе — % от общей численности микроорганизмов.

Замена в субстрате для вермикомпостирования навоза КРС на лузгу гречихи (25%) привела к изменению численности физиологических групп микроорганизмов и общей их численности. В вермикомпосте на основе жома, лузги гречихи, цеолита общая численность микроорганизмов составила  $854,5 \cdot 10^6$  КОЕ/г. Численность микроорганизмов, использующих минеральный азот, достигала 56,23% и была на 12,6% выше численности микроорганизмов, использующих органический азот и доступное органическое вещество (рост на МПА). Такое соотношение обуславливало увеличение значения коэффициента минерализации до 1,29. Изменений в соотношении бактерий и актиномицетов, использующих минеральный азот и сложные полисахариды в этом виде вермикомпоста, не установлено, их количество составило 45,92 и 10,31% от количества микроорганизмов, вырастающих на КАА. Аналогичная тенденция была установлена в вермикомпосте на основе жома, навоза КРС и цеолита.

Значительные изменения в микробном сообществе установлены для вермикомпоста, полученном на основе лузги гречихи, жома и шлака. Анализ данных по общей численности микроорганизмов показал, что в этом компосте резко снижалась численность микроорганизмов, она составила  $376,8 \cdot 10^6$  КОЕ/г, что в 2,3 раза ниже численности микроорганизмов в вермикомпосте из жома, лузги гречихи и цеолита. Установленная тенденция в соотношении групп микроорганизмов, вырастающих на КАА и использующих органические формы азота (КОЕ на МПА), прослеживается и в этом виде вермикомпоста. Так, численность микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота, составила 55,92% от общего количества организмов, причем в этой группе микроорганизмов снижалось количество бактериальной микрофлоры (37,95%) и увеличивалось количество актиномицетов (17,97%). Численность микроорганизмов, использующих органиче-

ские формы азота, достигала 43,78%, в связи с этим значение коэффициента минерализации практически не изменялось и составило 1,28.

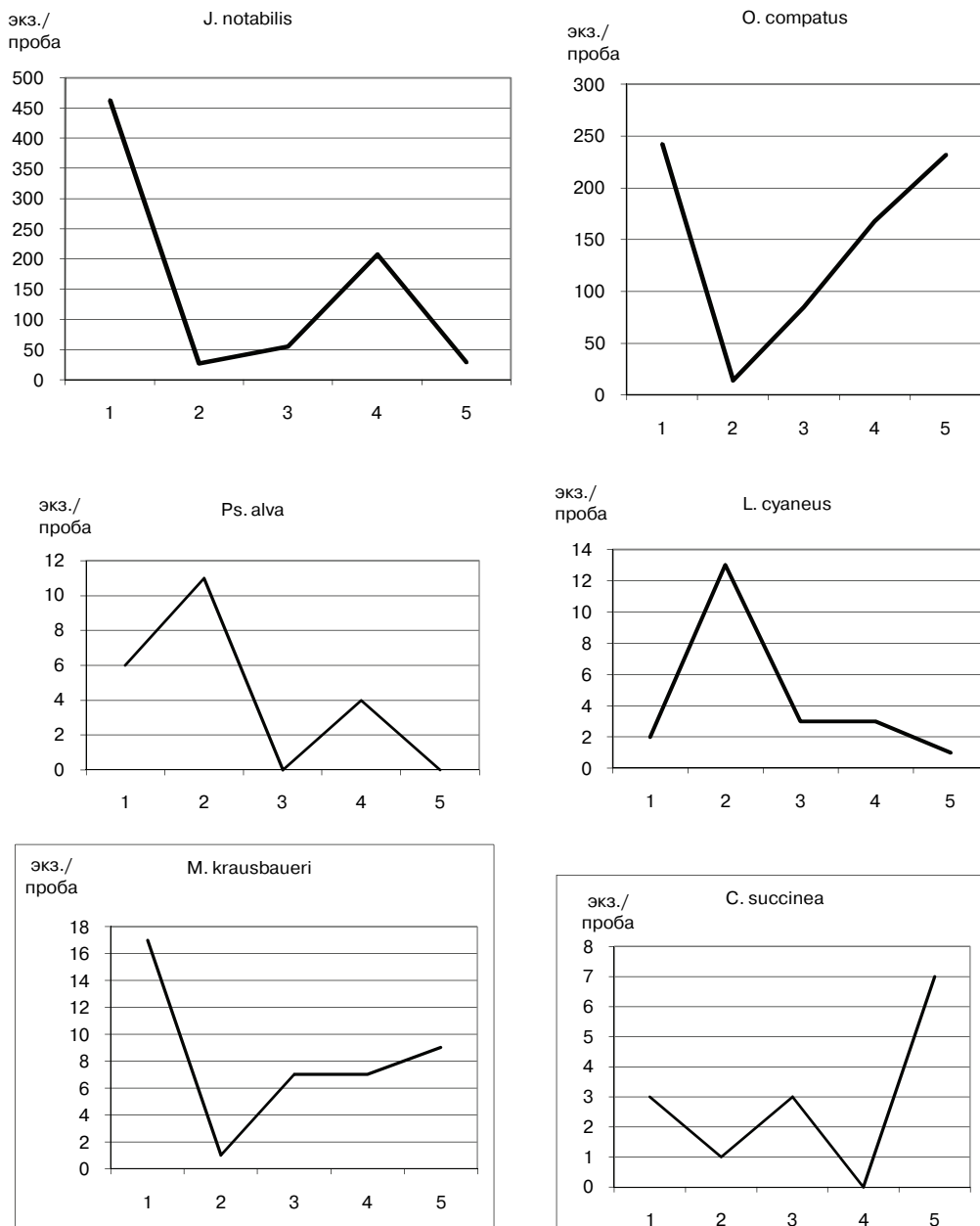
Таким образом, микробоценозы вермикомпостов на основе отходов производства и природных цеолитов отличаются между собой по общей численности микроорганизмов ( $123—1115,3 \cdot 10^6$  кл/г) и сбалансированности микробного сообщества по численности аммонификаторов ( $\text{КОЕ}_{\text{МПА}}$ ) и автохтонных микроорганизмов ( $\text{КОЕ}_{\text{КАА}}$ ).

Коллемболы — один из наиболее широко распространенных почвообитающих беспозвоночных. По сравнению с другими группами почвенных беспозвоночных коллемболы в целом малочувствительны к промышленному загрязнению, а численность некоторых видов коллембол даже увеличивается в загрязненной почве (Мелецис, 1985; Кузнецова Н.А. и др., 1994). Большой интерес представляет связь почвенно-зоологических характеристик с продуктивностью исследуемых тепличных грунтов.

Изучение агрегатного состава почвогрунтов показало, что в условиях опыта и вермикомпост, и добавки цеолитовых туфов проявляют себя как почвоулучшатели структурного состояния грунтов и создают определенный объем пор. Поры, заполненные воздухом, образуют систему микропищер, в которых обитают дышащие воздухом мелкие животные, имеющие размеры от десятых долей до 2—3 мм. Это многочисленные группировки клещей (панцирные, акароидные, гамазовые, тарсонемоидные и др.), первичнобескрылые насекомые (коллемболы, протуры, двухвостки), мелкие виды крылатых насекомых, многоножки, симфилы и др. Они ползают по стенкам почвенных полостей при помощи конечностей или червеобразно изгибаясь. Периоды затопления водой представители мезофауны переживают в пузырьках воздуха, который задерживается вокруг тела животных, благодаря их несмачивающимся покровам. Этот пузырек служит своеобразной физической жаброй, в которую кислород диффундирует из окружающей воды. Таким образом, условия, способствующие оструктуриванию почвы, создают благоприятную среду обитания почвенных беспозвоночных.

Как показали наши исследования, в почвогрунтах наблюдаются значительные различия в численности и видовом составе клещей и коллембол. Сообщество коллембол контрольного варианта характеризуется высокой общей численностью — 267 экземпляров на пробу в слое 0—5 см и 260 экземпляров в слое 5—10 см, резким преобладанием (более 80% всех коллембол) лишь одного вида *I. notabilis*. Сообщество включает в среднем восемь видов. В почвогрунтах с добавлением вермикомпоста отклонение сообщества коллембол от контрольного варианта значительно, они затрагивают как структурную основу, так и видовое богатство ногохвосток. Общая численность коллембол сокращается до 179 экземпляров на пробу, однако разнообразие сообщества возрастает, в состав доминантов также входят: *L. lanyginosus*, *M. krausbaueri*, *L. viridis* (рис. 1; 2).

При увеличении дозы вермикомпоста до 50% от общей массы грунта общая численность коллембол возрастает до 405 экземпляров, однако разнообразие сообщества возрастает, среднее количество видов достигает 12, в состав доминантов входит *I. notabilis*, *O. contatus*.



**Рис. 1.** Изменение плотности популяции массовых видов коллембол:

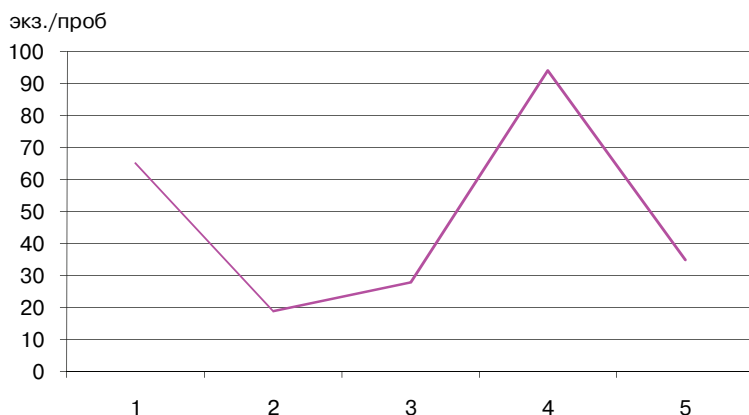
по горизонтальной оси — пробы: 1 — контроль;  
2 — контроль + Ц; 3 — 25%; 4 — 50%; 5 — 75%

В почвогрунтах с высоким количеством вермикомпоста (75%) общая численность коллембол сокращается до 289 экземпляров на пробу в слое 0—10 см, количество видов снижается до 6—8. Абсолютно преобладает вид *O. compatus* (85,71%).

В верхнем пятисантиметровом слое почвогрунта находится от 4,5 до 41,75 коллембол вида *I. notabilis*, при этом с увеличением дозы вермикомпоста количество коллембол этого вида сокращается почти в 10 раз (75% вермикомпоста).

На глубине 5—10 см почвогрунта распределение коллембол этого вида сохраняется в той же последовательности, если в контроле их было 45,92%, то при внесении вермикомпоста их количество резко сокращалось до 5,53% при внесении 75% дозы вермикомпоста.

При внесении вермикомпоста увеличивается численность коллембол вида *O. compatus*, при этом внесение 25% вермикомпоста их распределение в почвогрунте было примерно одинаково по всей глубине, с увеличением дозы вермикомпоста резко возрастает количество коллембол этого вида в верхнем пятисантиметровом слое, при внесении 75% вермикомпоста их количество было почти в 2,5 раза больше, чем в слое 5—10 см.



**Рис. 2.** Среднее количество коллембол в сериях проб:  
по горизонтальной оси — пробы: 1 — контроль;  
2 — контроль + Ц; 3 — 25%; 4 — 50%; 5 — 75%

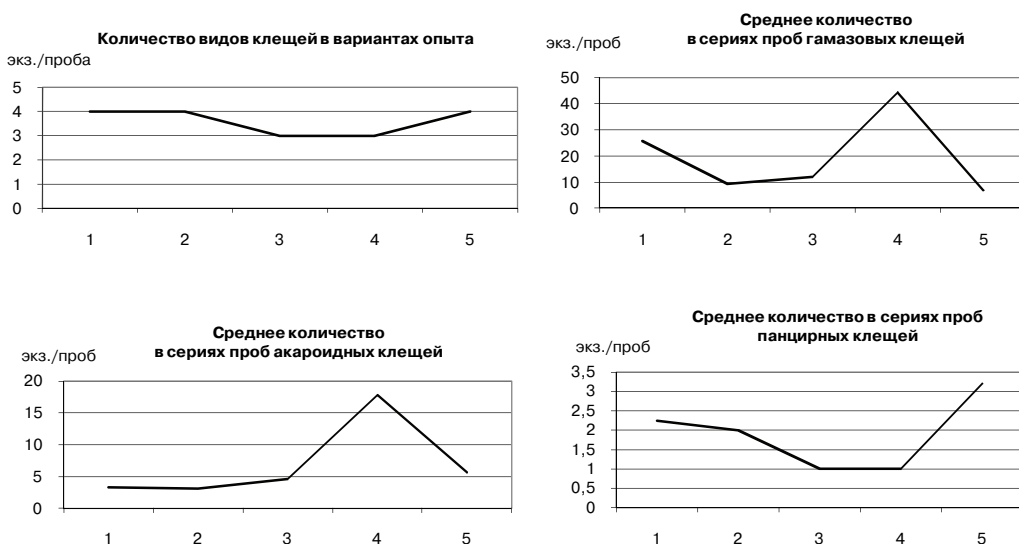
При внесении цеолита в почвогрунты наблюдается увеличение численности коллембол на глубине 5—10 см. При внесении цеолитовых туфов в почвогрунт контрольного варианта общая численность коллембол минимальна — 90 экземпляров; количество видов практически не меняется, но значительно изменяется структура сообщества. В состав доминантов входят: *I. notabilis* (28—31,4%), *Ps alwa* (7,7—15,7%), *O. compatus* (5—23,5%), *L. cyaneus* (9,8—20,5%), *E. nivalis* (12,8—3,9%), *L. lanyginosus* (5,9%), *L. viridis* (12,8%), *Entomobris sp* (5,9%).

Таким образом, внесение вермикомпоста и цеолита в почвогрунты влияет не только на видовой состав и численность коллембол, но и на распределение их по глубине почвогрунта.

Панцирные клещи, как и коллемболы, также принимают участие в почвообразовательных процессах. Они питаются разлагающимися растительными остатками, гифами и спорами грибов, водорослями, экскрементами животных. Орибатида механически и химически изменяют органические остатки, способствуя их минерализации и гумификации.

Характер изменения отдельных показателей структуры населения клещей в изученных почвогрунтах различен. Так, общая численность клещей с ростом дозы вермикомпоста до 75% снижается в 2,3 раза в сравнении с контрольным вариантом.

При внесении 25% вермикомпоста от массы почвогрунта численность клещей снижалась на 1,9 раза в сравнении с контролем, однако общевидовое богатство оставалось таким же, как и в контрольном варианте. Варианты опыта с вермикомпостом в дозе 50% от массы почвогрунта отличались самой высокой численностью клещей — 716 экземпляров в слое 0—10 см, при этом полностью отсутствовала панцирная группа клещей. Особенно заметно меняется в разных типах почвогрунтов соотношение доминирующих групп клещей. Если в контрольном варианте доминирующую группу составляли гамазовые клещи (81,4%), то при внесении вермикомпоста 25% от массы грунта их количество снизилось до 71,4%, 50% вермикомпоста — 68,4%, а при дозе 75% вермикомпоста их количество снижалось до 47,2—57,4%. При высоких дозах вермикомпоста увеличивается плотность популяции акароидных и панцирных клещей до 24,5—25,5%, и практически полностью отсутствуют панцирные клещи при внесении 25% и 50% вермикомпоста. Можно предположить, что чем больше органических остатков, тем выше плотность популяции панцирных и акароидных клещей (рис. 3).



**Рис. 3.** Среднее количество клещей а сериях проб:

По горизонтальной оси — пробы: 1 — контроль; 2 — контроль + Ц; 3 — 25%; 4 — 50%; 5 — 75%

В составе почвогрунтов наблюдается значительное перераспределение клещей по глубине слоя почвогрунта. В контрольном варианте 50,7% гамазовых клещей заселяют верхние 0—5 см, 30,6% встречаются на глубине от 5—10, акароидные клещи на 10% заселяют верхний слой, и 2,89% особей встречаются на глубине 5—10 см.

Внесение вермикомпоста вызывает изменение в распределении клещей, так при внесении 75% вермикомпоста их содержание в слоях 0—5, 5—10 см почвогрунта примерно одинаковое. Так же равномерно распределение акароидных клещей. Панцирные клещи заселяют верхние 5 см грунта.

При внесении цеолитовых туфов в почвогрунт в сообществе клещей наблюдается резкое снижение численности до 143 экземпляров и преобладание гамазовых клещей, в слое 0—5 см их доля в населении составляет 66,7%, а в слое 5—10 см — 90,8%. В этом варианте доля акароидных клещей в населении достигает 25,6% в слое 0—5 см и 4,6% в слое 5—10 см.

Таким образом, внесение вермикомпоста и цеолита в почвогрунты вызывает изменения в сообществе почвенных беспозвоночных. Перестройка в сообществе коллембол под влиянием вермикомпоста происходит следующим образом: снижается доля вида *I. notabilis*, далее возрастает видовое и экологическое разнообразие группировки, численность сообщества падает и упрощается его структура.

Внесение цеолитовых туфов в почвогрунты вызывает резкое сокращение мелких почвообитающих сапрофагов — коллембол и клещей. На этих почвогрунтах отмечено сокращение плотности популяции основного доминанта *I. notabilis* сообщества коллембол и гамазовых клещей.

На способность коллембол и клещей питаться корнями указал Шаллер. Мелкие ногохвостки, клещи вгрызаются в начинающие загнивать корешки растений и выгрызают их содержимое. Личинки микроартропод значительно мельче, чем взрослые формы, поэтому они выгрызают содержимое еще более мелких корешков. В результате заселенный мелкими почвенными членистоногими отмирающий корешок превращается в пустой ход. При разрушении корешков почва оказывается пронизанной многочисленными переплетающимися ходами. При этом склеенные корешками частицы почвы распадаются на структурные отдельные. Иными словами, чем больше корней и численность почвенных беспозвоночных, тем интенсивнее процессы оструктурирования. Однако можно предположить, что поедание коллемболами и клещами корневых волосков является причиной более низкого урожая культур на контрольном варианте, где количество органических веществ было минимальным.

Высокие дозы вермикомпоста (75%) обуславливают создание слабощелочной среды, высокую насыщенность основаниями и повышенное содержание Cr, Cu, Mn и самое низкое содержание железа, что вызывает перестройку в численности и структуре почвенных беспозвоночных.

Внесение вермикомпоста и цеолита в почвогрунты вызывает изменения в сообществе почвенных беспозвоночных. Перестройка в сообществе коллембол под влиянием вермикомпоста происходит следующим образом: снижается доля *I. Notabilis*, возрастает видовое экологическое разнообразие группировки, численность сообщества падает, и упрощается его структура. Внесение цеолита вызывает резкое сокращение мелких почвообитающих сапрофагов — клещей и коллембол, отмечено сокращение плотности популяции основного доминанта *I. notabilis*, в сообществе коллембол и гамазовых клещей при высоких дозах вермикомпоста увеличивается плотность популяции акароидных и панцирных клещей до 24,5—25,5%.

Перестройка в структуре почвенных беспозвоночных, являющихся индикаторами загрязнения почвогрунтов тяжелыми металлами, происходит с изменением содержания тяжелых металлов, увеличение концентрации Fe, Cu, Mn, Zn, Pb при внесении цеолитовых туфов в почвогрунты, повышение степени насыщенности их основаниями вызывают резкое сокращение коллембол и клещей.

Высокие дозы вермикомпоста (75%) обуславливают создание слабощелочной среды, высокую насыщенность основаниями и повышенное содержание Cr, Cu, Mn и самое низкое содержание железа, что вызывает перестройку в численности и структуре почвенных беспозвоночных.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989.
- [2] *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. — М.: Изд-во МГУ, 1991.
- [3] *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.* Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микробную систему чернозема // Почвоведение. — 1999. — № 4. — С. 505—511.
- [4] *Тетпер Е.Э., Шильникова В.К., Переверзева Г.И.* Практикум по микробиологии. — М.: Колос, 1993.

## CHANGE OF BIOGENIC NUTRIENT GROUND AND VERMICOMPOST PRODUCTION FROM WASTE AND ZEOLITES

**L.P. Stepanova<sup>1</sup>, E.A. Korenkova<sup>1</sup>, A.V. Tarakin<sup>1</sup>,  
E.I. Stepanova<sup>1</sup>, I.M. Tihoykina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Orel State Agrarian University  
*Generala Rodina str., 69, Orel, Russia, 302019*

<sup>2</sup>Orel State Institute of Economics and Commerce  
*October str., 12, Orel, Russia, 302028*

The ability of micro-organisms sensitive to the slightest changes in the environment and high enzyme activity can be used to indicate the status of ecosystems and degradation assessment of toxic compounds in them. Microbial analysis of different types of soil nutrient constructed of waste, natural zeolites and soil, indicate that in all kinds of soil nutrients to create optimal conditions for the microorganisms.

**Key words:** microbial, waste production, vermicompost, nutrient ground, bioindication.