

СУКЦЕССИИ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В АГРОБИОЦЕНОЗЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В статье представлены данные о формировании видового сообщества почвенных организмов при использовании осадков сточных вод в агробиоценозах. Результаты позволяют говорить о взаимозависимости сукцессионных изменений сообщества почвенных беспозвоночных и доз осадков сточных вод при использовании их в качестве органических удобрений под культуры интенсивного плодоношения.

Сохранение биоразнообразия на антропогенно деформированных территориях является определяющим фактором и индикатором степени самодостаточности устойчиво развивающихся систем. При устойчивом развитии агроэкосистемы сохраняется способность к саморегуляции и самосохранению посредством поддержания биоразнообразия. Чем выше степень биоразнообразия сообщества, тем менее проблемно будет последующее эксплуатирование агроэкосистемы. Поскольку данные системы монодоминантны и обеднены растительным сообществом, нам необходимо выработать стратегию повышения устойчивости за счет других элементов среды. Таким элементом являются почвенные организмы, от деятельности которых зависят характер и интенсивность биологического круговорота веществ, масштабность и интенсивность фиксации основного биогенного элемента – азота, способность почвы к самоочищению. Именно от деятельности почвенной биоты зависят показатели плодородия почв, качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды.

Материалы и методы

Исследования почвенной фауны в 2005–2007 гг. включали в себя изучение почвенного разнообразия опытного участка, принадлежность видов, его населяющих, к экологическим группам, а также соотношение отдельных групп. Методика изучения почвенных животных в делянках с внесением различных доз осадков сточных вод (ОСВ) основана на выемке почвы в разные сезонные периоды вегетации опытных растений.

Опытный участок представлял собой делянки с дозами внесения ОСВ – 40, 60 и 80 т/га. В контрольном варианте вносили навоз в дозе 40 т/га. Все варианты были представлены в 4-кратной повторности.

Осадки сточных вод представляют собой землеподобную сыпучую массу 50...60% влажности, содержат 36,34% (от сухого) органических веществ, до 2,24% общего азота, до 1,26% валового фосфора (P_2O_5), до 0,3% калия (K_2O), богатый набор микроэлементов.

Опытными растениями служили перец сладкий и баклажан обыкновенный.

Для обнаружения и учета почвенных водорослей применили метод почвенной культуры. Для этого ежегодно производили забор ненарушенного слоя почвы в 1 см стерильным ножом в начале вегетационного периода однократно (конец мая). Почву переносили в чашки Петри с каждого варианта в 4-кратной повторности, хорошо увлажняли дистиллированной водой (до 80–100% полной влагоемкости) и выдерживали на свету в течение всего периода исследования. Пробы почвы (5–6 мг) брали с чашек Петри препаровальной иглой, помещали на предметное стекло и просматривали в капле воды под микроскопом в течение трех недель. Подсчет водорослей проводили методом прямого счета. Полученные при просмотре цифры умножили на 200, что дает количество клеток в 1 г почвы.

Для учета почвенных простейших применяли метод инициированного сообщества. Учет численности осуществляли под микроскопом [1].

Изучение и определение мелких групп почвенных беспозвоночных (коллемболы, нематоды и др.) проводили путем изъятия проб почвенным буром с дальнейшим извлечением с помощью воронки Тульгрена [8].

Определение разнообразия крупных групп почвенных беспозвоночных проводилось методом прямого ручного разбора проб [2] при выемке почвы послойно по 10 см площадью 0,25 м². Личинки насекомых с плотными покровами и многоножек также собирали в сосуды с 75⁰ спиртом [11].

Видовую принадлежность почвенных беспозвоночных выявляли по определителям, указанным в списке литературы [4, 6].

После определения и подсчета найденные организмы возвращались в естественную среду обитания [3].

Результаты и их обсуждение

В разложении органических веществ, входящих в состав ОСВ, принимают участие многочисленные виды почвенных организмов. При внесении осадков сточных вод происходит смена почвенного сообщества в зависимости от разложения этой органической массы.

За три года проведенных исследований была определена средняя численность почвенных беспозвоночных и водорослей на экспериментальных делянках, в зависимости от доз внесения изучаемых ОСВ. Таблица 1 составлена с учетом принадлежности организмов к основным размерным группировкам.

В первую неделю исследования развитие получили водоросли отделов *Chlorophyta* и *Bacillariophyta*, которые в пробах более позднего периода были представлены уже в единичных экземплярах.

С четвертой недели активно развивались представители отделов *Cyanophyta* и *Xanthophyta*.

Отмечены представители родов сине-зеленых водорослей *Gleocapsa*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Cylindrospermum*.

Желто-зеленые водоросли были представлены родами *Botrydium*, *Pleurochloris*, *Heterothrix*.

При внесении осадка сточных вод в почву в качестве органического удобрения повышается

максимальная гигроскопичность почвы, что способствует росту талломов водорослей. Так, в варианте с дозой внесения ОСВ 40 т/га общая численность водорослей больше, чем в контроле, на 11%. Численность водорослей в варианте с дозой внесения ОСВ 60 т/га превышает численность в контроле на 23%, а с дозой ОСВ 80 т/га – на 28%.

Внесение ОСВ приводит к подщелачиванию почвенного раствора, что, видимо, и стимулирует развитие сине-зеленых водорослей. В опытных делянках в вариантах с внесением осадка сточных вод 40 т/га численность сине-зеленых водорослей превышает на 11,2%, с дозой ОСВ 60 т/га – 16,8%, а в дозе ОСВ 80 т/га – на 21,3% контроль.

Внесение высоких доз 60 и 80 т/га ОСВ оказывает стимулирующее действие на развитие сине-зеленых водорослей. Данный факт подтверждается рядом исследователей [9, 11]

В наших опытах наблюдается прямая зависимость между внесением органики в почву в виде ОСВ, увеличением количества водорослей и численностью беспозвоночных, в том числе фикофагов, представленных простейшими, нематодами, коловратками, коллемболами.

Численность *Protozoa* в среднем за изучаемый период максимальна при дозе внесения ОСВ 80 т/га и составляет 9,5 тыс./1 г почвы, что больше, чем в контроле, почти в 2 раза. В вариантах с дозами внесения ОСВ 40 т/га и 60 т/га численность простейших в среднем составила 6,0 и 8,7 тыс./1 г почвы, что превышает контроль в 1,25 и 1,8 раза соответственно.

Таблица 1. Численность почвенных водорослей и беспозвоночных по вариантам (ср. за 2005–2007 гг.).

Размерные группы Варианты	Нанофауна (менее 0,1 мм) тыс./ 1 г почвы			Микрофауна (0,1 – 0,5 мм) 10 ³ экз./ дм ²		Мезофауна (0,5 – 2 мм) 10 ³ экз./ м ²		Макрофауна (более 2 мм) экз./ м ²				
	Желтозеленые водоросли (<i>Xanthophyta</i>)	Синезеленые водоросли (<i>Cyanophyta</i>)	Простейшие (<i>Protozoa</i>)	Нематоды (<i>Nematoda</i>)	Коловратки (<i>Rotatoria</i>)	Коллемболы (<i>Collembola</i>)	Панцирные клещи (<i>Oribatoidea</i>)	Дождевые черви (<i>Lumbricidae</i>)	Многоножки (<i>Myriapoda</i>)	Мокрицы (<i>Oniscoidea</i>)	Уховертки (<i>Dermaptera</i>)	Жесткокрылые (<i>Coleoptera</i>)
Контроль	18,9	17,8	4,8	10,1	6,0	6,1	5,0	11,9	0,3	2,9	4,3	3,3
ОСВ 40 т/га	21,1	19,8	6,0	13,2	8,4	7,4	6,3	18,3	0,3	4,2	5,1	5,7
ОСВ 60 т/га	24,5	20,8	8,7	15,7	10,9	9,4	7,2	20,1	0,2	5,6	5,8	7,2
ОСВ 80 т/га	25,5	21,6	9,5	16,0	9,6	8,5	8,3	17,5	0,5	4,8	6,5	7,3

Представители микрофауны *Rotatoria* большее развитие получили на делянках с внесением ОСВ в дозе 60 т/га с превышением над контролем на 81% со средней численностью 10,9 тыс./дм³ почвы. В других вариантах с внесением ОСВ также наблюдалось превышение численности коловраток над контролем. При внесении ОСВ в дозе 40 т/га численность составила в среднем 8,4 тыс./1 г почвы и превысила контроль на 40%, при внесении ОСВ в дозе 80 т/га – 9,6 тыс./1 г почвы, что на 60% больше, чем в контроле.

Численность почвенных нематод на варианте с дозой ОСВ 40 т/га в среднем составила 13,2 тыс./дм³, превышая контроль на 30%. Возможно, что численность *Nematoda* зависит от смены сообществ люмбрицид и орибатид на протяжении времени эксперимента. Наши исследования показали, что при появлении *Lumbricidae* и *Oribatoidea* в опытных делянках количество нематод снижается.

Представители семейства *Lumbricidae*, основные потребители детрита, не являясь хищниками, невольно поглощают нематод и других почвенных животных. По данным исследователей [7], люмбрициды имеют ферменты, расщепляющие белок животного происхождения, переваривают этих почвенных животных. Видимо, этим можно объяснить высокое содержание азотных соединений в капролитах. [10]

В нашем случае, относительно контроля, при максимальной численности *Lumbricidae* в дозе 60 т/га – 20,1 экз/м² численность *Nematoda* снижена и составляет 15,7 тыс./дм³. При дозе внесения ОСВ 80 т/га численность *Lumbricidae* несколько ниже и составляет 17,5 экз/м², что в свою очередь снижает нагрузку на *Nematoda*, и численность их возрастает до 16,0 тыс./дм³. Однако на них продолжают оказывать значительное давление *Oribatoidea*, по природе являющиеся хищниками и активно эксплуатирующие высших и низших червей. Численность *Oribatoidea* максимальна в дозе 80 т/га и составляет в среднем 8,3 тыс./м², что свидетельствует о благоприятных для них условиях. В варианте с дозой ОСВ 40 т/га численность панцирных клещей – 6,3 тыс./м² и превышает контроль на 26%, а с дозой 60 т/га составляет 7,2 тыс./м², что также превышает контроль на 44%.

В наших исследованиях мезофауну почв представляют также виды семейства *Collembola*. В варианте с дозой ОСВ 40 т/га численность

коллембол составляет 7,4 тыс./м², что больше контроля на 21%. Наибольшая численность *Collembola* отмечается при внесении ОСВ в дозе 60 т/га – 9,4 тыс./м², что превышает в среднем на 54% численность этой группы организмов в контрольном варианте. В варианте с дозой 80 т/га численность коллембол превышает контроль на 39% и составляет 8,5 тыс./м².

Численность *Oniscoidea* в дозе внесения ОСВ 60 т/га в среднем составляет 5,6 экз/м², что превышает численность в контроле на 93%, а в варианте с дозой ОСВ 80 т/га – на 71%. При внесении ОСВ в дозе 40 т/га численность мокриц превышает контроль на 44% и в среднем составляет 4,2 экз/м². Продукты жизнедеятельности *Oniscoidea* сходны с таковыми у люмбрицид – богаты азотом и другими питательными веществами, поэтому их численность имеет большое значение в нашем опыте.

Представители надкласса *Myriapoda* в среднем имеют наибольшую численность в варианте с дозой ОСВ 80 т/га и составляют 0,5 экз/м², что на 66% больше, чем в контроле. В варианте с дозой ОСВ 40 т/га численность равна таковой в контроле и составляет 0,3 экз/м². В варианте с дозой внесения ОСВ 60 т/га численность многоножек в среднем составила 0,2 экз/м², что меньше, чем в контроле, в 1,5 раза. Такое значительное превышение численности в варианте с дозой ОСВ 80 т/га, вероятно, связано с наличием большого разнообразия пищевой базы для хищных видов класса *Chilopoda* (отряды *Lithobiomorpha*, *Geophilomorpha*).

В наших сборах макрофауну почвы дополняют представители отряда *Dermaptera*, которые имеют большую численность на варианте при дозе внесения ОСВ 80 т/га – 6,5 экз/м², превышающую численность в контроле в среднем на 51%. В вариантах с дозами внесения ОСВ 40 и 60 т/га численности уховерток в среднем составляет 5,1 экз/м² и 5,8 экз/м² и превышают контроль на 18% и на 34% соответственно.

Численность представителей отряда *Coleoptera* на вариантах с дозами внесения ОСВ 60 и 80 т/га в 2,2 раза больше, чем в контроле, и составляет в среднем 7,3 экз/м². В варианте с дозой ОСВ 40 т/га численность жесткокрылых в имагинальной и личиночной стадиях также превышает численность в контрольном варианте в 1,7 раза и составляет 5,7 экз/м².

Наибольшая численность в варианте внесения ОСВ 60 т/га таких таксономических групп, как коллемболы, люмбрициды, многоножки и мокрицы, говорит о том, что на изучаемых опытных делянках формируются оптимальные условия для обеспечения жизнедеятельности почвенных беспозвоночных, которые в свою очередь активизируют гумусообразование и создают хорошие агрофизические свойства почв.

Большое значение для изучения сукцессии почвенных беспозвоночных в агробиоценозах имеет пищевое предпочтение отдельных групп организмов.

В соответствии с этим при проведении исследований почвенной фауны мы пользовались экологической классификацией, разделяющей организмы по способу питания на фитофагов, зоофагов, сапрофагов и миксотрофов (таблица 2).

Процентное распределение почвенных организмов по пищевым предпочтениям было относительно равномерным по годам исследований.

Животные-сапрофаги большую численность имели в варианте с дозой ОСВ 80 т/га, за три года в среднем она составила 34,6% от общего числа видов, что превышает в среднем численность сапрофагов в контроле на 9,5%, что

связано с наибольшим привнесением растительных остатков в почву с осадками сточных вод. Среди сапрофагов в наших выборках присутствовали такие виды, как: афодий навозный (*Aphodius fimetarius*), афодий краснобрюхий (*Aphodius foetens*), жук-носорог (*Oryctes nasicornis*), геофил обыкновенный (*Geophilus longicornis*), представители семейств дождевых червей (*Lumbricidae*), мокриц (*Oniscoidea*), нематод (*Nematoda*).

Хищники в экспериментальных делянках были представлены разнообразно: хищник великолепный (*Staphylinus caesareus*), красотел пахучий (*Calosoma sycophanta*), быстряк шеститочечный (*Agonum sexpunctatum*), коровка семиточечная (*Coccinella septempunctata*), хищник серый (*Crephilus maxillosus*), плоскотелка красная (*Cucujus cinnabarius*), представители класса губоногие многоножки (*Chilopoda*). Наибольшую численность животные-хищники имели в контрольном варианте и составляли в среднем за годы изучения 31,0% от общего числа организмов.

Самая немногочисленная группа относительно общей численности животных – фитофаги – численное преимущество имела по годам исследований на разных экспериментальных делянках. В 2005 году изучения большая численность фитофагов была в варианте с дозой внесе-

Таблица 2. Процентное соотношение пищевых групп почвенных организмов по вариантам опыта (2005–2007 гг).

Пищевые группы Варианты	Сапрофаги	Хищники	Фитофаги	Миксотрофы
2005 г.				
Контроль	22,7	29,8	14,9	32,6
ОСВ 40 т/га	31,6	26,3	15,8	26,3
ОСВ 60 т/га	32,4	27,9	12,0	27,7
ОСВ 80 т/га	34,8	30,4	13,1	21,7
2006 г.				
Контроль	27,8	29,6	16,7	25,9
ОСВ 40 т/га	33,2	28,7	14,3	23,8
ОСВ 60 т/га	34,8	26,1	13,0	26,1
ОСВ 80 т/га	36,4	26,3	14,5	22,8
2007 г.				
Контроль	25,0	33,7	11,9	29,4
ОСВ 40 т/га	30,8	34,6	11,5	23,1
ОСВ 60 т/га	32,4	30,4	11,3	25,9
ОСВ 80 т/га	32,7	29,2	12,5	25,6

ния ОСВ 40 т/га и составила 15,8%, в 2006 г. – в контроле – 16,7%, в 2007 г. в варианте с дозой ОСВ 80 т/га – 12,5%. В пробах были обнаружены следующие фитофаги: ухвертка огородная (*Forficula tomis*), имаго и личинки щелкуна медного (*Corymbites cupreus*), бронзовка золотая (*Cetonia aurata*), личинки которой относятся к сапрофагам.

Миксотрофы являются организмами, не специализированными в выборе пищи, в наших выборках они составляли весомую часть почвенного сообщества. Встречаемыми организмами на делянках были: жук-могильщик (*Necrophorus vespillo*), медляк степной (*Blaps halophila*), двухвостка обыкновенная (*Campodea plusiochaeta*), тощеклоп красивый (*Spilosthetus equestris*), долгоносик многоядный (*Tanymecus palliatus*), сверчок степной (*Gryllulus desertus*), многочисленные представители ногохвосток (*Collembola*) и до недавнего времени считавшиеся исключительно сапрофагами панцирные клещи (*Oribatoidea*). Максимальная численность миксотрофов наблюдалась в 2005 и 2007 годах в контрольном варианте и составила 32,6 и 29,4% соответственно. В 2006 году исследования – в варианте с дозой внесения ОСВ 60 т/га и составила 26,1% от общей численности видов почвенных организмов.

По мнению исследователей [2], наибольшее значение для агробиоценозов имеют сапрофаги. Нами в течение трех лет была прослежена динамика численности животных-сапрофагов по годам исследований (рис. 1).

На диаграмме мы видим, что по всем годам изучения максимальная численность прослеживается в сентябре, а минимальная – в июле.

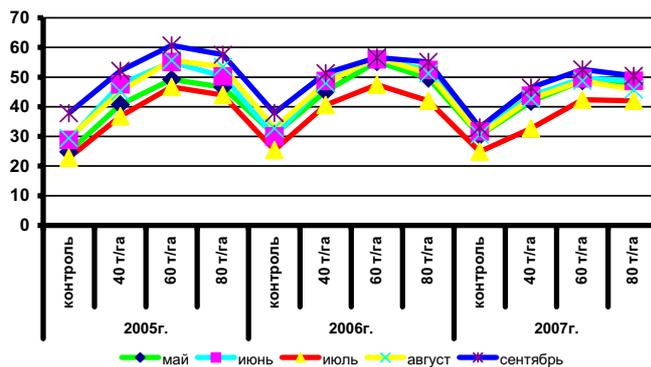


Рисунок 1. Динамика сапрофагов по годам исследований.

Такая динамика численности связана с наибольшим разнообразием и обилием пищи, а также оптимальными гидротермическими условиями, которые складываются на участках в конце августа и сентябре. В июле наблюдаются повышенные температуры окружающей среды (температура воздуха, поверхности почвы) с меньшим количеством осадков, которые оказывают влияние на снижение активности почвенных организмов, что согласуется с имеющимися литературными данными [5].

Таким образом, по всем трем годам исследований прослеживается закономерность смены сообществ почвенных беспозвоночных в зависимости от доз вносимых ОСВ. Большие дозы ОСВ стимулируют развитие водорослей и организмов-сапрофагов, которые в свою очередь повышают численность фикофагов. Численность сапрофагов напрямую зависела от доз внесения ОСВ. Наибольшее значение численности сапрофагов наблюдалось в дозе 80 т/га и составило в среднем 34,6%.

Список использованной литературы:

1. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 248 с.
2. Гиляров М.С. Учет крупных почвенных беспозвоночных (мезофауны). – В кн.: Методы почвенно-зоологических исследований – М.: Наука, 1975. – С. 12 – 29.
3. Головянко З.С. К методике учета почвенной фауны // Защита растений. – 1938. – сб.18., С. 223 – 225.
4. Горностаев Г.Н. Насекомые СССР. – М.: Мысль, 1970, 372 с.
5. Комаревцева Л.Г. Процессы превращения растительных остатков в почве и формирование гумусового горизонта в условиях южной тайги. – Дис. ... канд. биол. наук. – М.: ТСХА. – 1972. – 266 с.
6. Плавильщиков Н.Н. Определитель насекомых. – М.: Учпедгиз, 1957, 545 с.
7. Тиунов А.В. Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты: Автореф. дисс...доктора биол. наук. – М.: 2007. – 58 с.
8. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. – М.: Высш. шк., 1971, 424 с.
9. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. – М.: Наука, 1976, 143 с.
10. Филиппова А.В., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Эффективность компостов из осадков сточных вод и других органических отходов. Проблемы обращения с отходами лечебно-профилактических учреждений. – М.: Минздрав России, 2001
11. Fogg D.E., Stewart W.D.P., Fay P., Walsby A.E. The Blue-green Algae. Academic Press, London. 1973., P. 99 – 107.
12. Heilman T.J., Gednalske J.V., Walgenbach D.D. A simple washing method for extracting insect larvae from the soil // J. Kans. Entomol. Soc. – 1983. – V. 56, N 4. – P. 496 – 498.