

**РОЛЬ
МИКРОФЛОРЫ
В ЗАЩИТЕ
ПОЧВЫ
ОТ
АГРО-
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ**



АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР
Институт микробиологии

Н. И. МИЛЬТО, А. И. КАРБАНОВИЧ,
В. Т. ВОРОЧАЕВА, Л. И. СТЕФАНОВИЧ

РОЛЬ МИКРОФЛОРЫ В ЗАЩИТЕ ПОЧВЫ ОТ АГРО – ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

МИНСК
«НАУКА И ТЕХНИКА»
1984

Мильто Н И, Карбанович А И, Ворочаева В Т, Стефанович Л И—**Роль микрофлоры в защите почвы от агропроизводственных загрязнений.**— Мн Наука и техника, 1984 — 133 с

В книге приведены результаты научных исследований, проведенных авторами, и обобщены литературные данные о роли микроорганизмов в защите почвы от агропроизводственных загрязнений. Рассматриваются особенности состава и деятельности микрофлоры ила аэротенков цеха биоочистки свиноводческого комплекса и микробных ценозов почв при внесении в них отходов животноводческого комплекса крупного рогатого скота, минерального азота, микроудобрений, протравителей и гербицидов. Обсуждаются вопросы почвоохранного значения бобовых культур, играющих решающую роль в укреплении кормовой базы животноводства в условиях химизации и специализации сельскохозяйственного производства.

Рассчитана на широкий круг специалистов, работающих в области почвенной микробиологии, сельского хозяйства и охраны окружающей среды

Табл 44. Ил. 26 Библиогр · с 117—131.

Научный редактор

П А Буланов, чл-кор АН КазССР

Рецензенты

Р В Тузова, д-р вет наук,

С И Балахонов, канд. с.-х. наук

3802020000—103
М—99—84
М316—84

© Издательство
«Наука и техника», 1984

ВВЕДЕНИЕ

Претворение в жизнь Продовольственной программы СССР, принятой майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС, требует неуклонного увеличения производства различных видов сельскохозяйственной продукции. Интенсификация сельского хозяйства неразрывно связана со специализацией и концентрацией его отдельных отраслей, а также с широким использованием удобрений и химических средств защиты растений от болезней, вредителей и сорняков. В связи с этим за последние годы в нашей стране резко увеличились темпы химизации земледелия и перевода животноводства на промышленную основу. Вместе с тем возросла опасность загрязнения почвы и водоемисточников агрохимикатами и отходами животноводческих комплексов. Поэтому охрана окружающей среды стала неотъемлемым звеном при разработке научно обоснованных систем ведения хозяйства.

Концентрация животноводства осуществляется главным образом путем создания новых животноводческих комплексов. В настоящее время сброс сточных вод животноводческих комплексов и ферм в мировом масштабе составляет более 10 км^3 в год, а объем природных вод, загрязняемых этими стоками, превышает 300 км^3 (Новиков, 1981). В Белоруссии введено в строй более 50 комплексов различной специализации.

Действие животноводческих комплексов промышленного типа на окружающую среду связано с ежедневным образованием большой массы отходов и необходимостью использования их на ограниченной площади. Это приводит к накоплению в почве больших количеств различных соединений азота, в частности нитратов, и других веществ, которые могут в избытке накапливаться в урожае выращиваемых растений, а также легко выщелачиваться из почвы и загрязнять природные воды.

Широкое использование удобрений в большинстве случаев способствует повышению урожаев сельскохозяйственных культур не менее чем на 50%. Особенно большое значение имеет увеличение объема производства азотных удобрений. Их применение дает наиболее весомые прибавки урожаев многих сельскохозяйственных культур, но не всегда оправданно для бобовых. При неправильном использовании азотных удобрений они также становятся источником загрязнения нитратами почвы и водоемисточ-

ников. Пестициды составляют незначительную часть общей массы применяемых в сельском хозяйстве агрохимикатов. Тем не менее в ряде случаев они могут представлять известную опасность для природной среды вследствие их высокой биологической активности и широкого спектра действия.

Животноводческие отходы и агрохимикаты, поступая в почву, оказывают непосредственное действие на микробный ценоз, изменяя его состав, численность и активность. С другой стороны, с деятельностью микрофлоры связано очищение почвы от поступающих в нее агрохимикатов и животноводческих отходов. Состав и активность микрофлоры определяют скорость распада вносимых с животноводческими отходами белковых веществ (аммонификация), степень разложения клетчатки навоза и энергию накопления в почве нитратов (нитрификация). Степень очистки жидкого навозного стока в аэротенках обусловлена функционированием микрофлоры активного ила. Микрофлора осуществляет разложение пестицидов, трансформацию минеральных удобрений в почве, от нее во многом зависит корневое питание возделываемых культур, величина и качество их урожая. Вместе с тем растения, в частности бобовые, являются мощным фактором сохранения и формирования агрономически ценных сообществ микроорганизмов в условиях сильного антропогенного воздействия на почву.

Естественно, что для эффективного использования микроорганизмов с целью охраны почв и водоемов от агропроизводственных загрязнений чрезвычайно важно знать, как изменяется состав и функционирование микробных ценозов аэротенков, где осуществляется первичная биоочистка жидкого навозного стока, а также микроорганизмов почвы при поступлении в нее жидкого навоза, пестицидов и минеральных удобрений. Такие сведения позволяют наиболее точно определить специфику деятельности микрофлоры и воздействовать на нее соответствующими технологическими или агротехническими приемами.

Полученные авторами в результате многолетних исследований (1972—1980 гг.) экспериментальные данные позволили определить пути оптимизации деятельности микрофлоры активного ила на свиноводческом комплексе и почвенной микрофлоры в зоне деятельности комплекса промышленного типа по производству говядины. Подробно рассмотрено природоохранительное значение бобовых культур в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства. Главы 1 и 2 написаны Н. И. Мильто, А. И. Карбанович и В. Т. Ворочаевой, глава 3 — Л. И. Стефанович, введение, глава 4 и заключение — Н. И. Мильто.

Авторы сердечно благодарят члена-корреспондента АН КазССР П. А. Буланова, взявшего на себя труд научного редактирования книги, а также очень признательны доктору ветеринарных наук Р. В. Тузовой и кандидату сельскохозяйственных наук С. И. Балахонову за ценные замечания и советы.

МИКРОФЛОРА ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕЕ АКТИВНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ БИООЧИСТКИ

Создание крупных животноводческих комплексов в целях перевода животноводства на промышленную основу ведет к резкому увеличению сосредоточенных объемов навозных стоков, требующих переработки для полноценной утилизации. При этом необходимы мероприятия, снижающие степень загрязнения окружающей среды. В промышленном свиноводстве эксплуатируются комплексы и фермы по выращиванию и откорму свиней на 12 тыс., 24 тыс., 54 тыс. и 108 тыс. голов в год. Выход жидкого навоза составляет от 260 до 2300 м³/сут. Удаление, переработка и использование такого количества жидкого навоза — одна из наиболее сложных проблем промышленного животноводства (Дискаленко и др., 1977; Курц и др., 1977; Семченко и др., 1979).

В настоящее время имеется шесть основных способов использования животноводческих отходов: внесение в почву в качестве удобрений, производство кормовых дрожжей и скормливание скоту после соответствующей переработки, получение биогаза, сбрасывание на поля фильтрации, спуск в водоемы и сжигание.

Литературные данные позволяют заключить, что основным способом утилизации отходов животноводческих комплексов теперь и, вероятно, в будущем будет использование их в качестве удобрений. Заслуживает внимания способ получения из животноводческих отходов кормовых добавок. При микробиологической переработке навозных стоков свиноводческих комплексов производят кормовые дрожжи, содержащие 45% протеина, и ряд других ценных веществ (Блянкман и др., 1981; Эрнст и др., 1974).

По сообщению К. И. Кузиной и др. (1982), один из первых цехов по выращиванию кормовых дрожжей на среде, полученной из свиного навоза, создан на Теленештском межколхозном свиноводческом комплексе в Молдавской ССР. Опыт его работы показывает, что из 100 т свиного навоза влажностью 80% можно получить около 5 т кормовых дрожжей, успешно используемых в качестве белково-витаминных добавок в рационах сельскохозяйственных животных. Применяемый на Теленештском комплексе метод утилизации навоза по сравнению с принятым способом биологической очистки позволяет почти на 20% снизить капитальные вложения в строительство очистных сооружений, в 20 раз сократить потребность в земельной площади для очистки навозных стоков.

Перспективным способом утилизации отходов животноводческих комплексов признано использование их для получения биогаза, образующегося при анаэробном разложении навоза. Биогаз из отходов свиноводческих комплексов содержит до 69% метана. Свиной навоз при температуре 35—37 °С разлагается за 10 дней, навоз крупного рогатого скота — за 15—20 дней. Из 1 кг отходов получают около 0,7 м³ газа. При анаэробном метановом сбраживании навоз полностью обеззараживается, улучшаются его удобрительные свойства благодаря сохранению азота и переводу значительной его части в легкоусвояемую растениями минеральную форму (Кузина и др., 1982). Другие из названных способов менее или совершенно неприемлемы по природоохранительным, экономическим, медико-социальным и иным соображениям.

Использование навоза в качестве удобрения является большим резервом повышения плодородия почв и укрепления кормовой базы. Однако применение навоза без предварительной обработки может привести к загрязнению почвы и окружающей среды (Красовская, 1975; Фокина, 1979). В литературе имеются сведения о ряде способов обработки жидкого навоза: 1) механическим разделением на фракции с последующим обезвреживанием твердой фракции термическим и биотермическим способами, а жидкой — биологическим или радиационным (Дмитриев и др., 1981). Твердая фракция вносится в почву в качестве удобрения, жидкая после обеззараживания используется для полива сельскохозяйственных культур; 2) приготовлением компостов в специальных цехах с последующим биотермическим обеззараживанием вблизи использования; 3) естественным разделением на твердую и жидкую фракции в навозохранилищах, где эти фракции обеззараживаются в результате длительного хранения.

В нашей стране широкое распространение получили первый и третий способы. Однако все они не вполне отвечают гигиеническим, зоотехническим и ветеринарно-санитарным требованиям. В связи с этим в настоящее время проводятся исследования, направленные на дальнейшее совершенствование существующих и разработку новых технологий удаления, обработки и использования жидкого навоза.

Для очистки жидкой фракции навоза с высоким содержанием органических веществ наиболее часто применяется биологический метод, основанный на окислении и минерализации органических веществ смешанной популяцией микроорганизмов — активным илом. Активный ил представляет собой комплекс микроорганизмов разных систематических групп (бактерий, простейших, водорослей), между которыми складываются определенные взаимоотношения. Самая многочисленная группа микроорганизмов в активном иле — бактерии: число их колеблется от 10⁸ до 10¹² клеток на 1 г сухого ила. Из активного ила выделено более 450 бактериальных культур (Ротмистров и др., 1979).

Академик А. А. Имшенецкий, выступая на сессии АН СССР, посвященной вопросам дальнейшего развития исследований по общей микробиологии, отметил усиление роли микробиологической науки в охране окружающей среды. Кроме того, он подчеркнул, что эколого-физиологическое направление должно быть основным в отечественной микробиологии.

Работ, посвященных изучению микрофлоры активного ила очистных сооружений животноводческих комплексов, очень мало. А. В. Балыкин (1977) провел анализ состава микрофлоры, развивающейся в сточных водах свинофермы. Среди бактериальных форм преобладают грамотрицательные палочки сем. *Bacteriaceae*, а также представители родов *Escherichia*, *Proteus*, *Salmonella*. Кроме того, значительный процент составляет споровая и кокковая микрофлора. По свойствам и характеру роста на агаризованных питательных средах представители этих групп отнесены к типичной почвенной микрофлоре: *Bacillus cereus*, *Bac. thuringiensis*, *Bac. mycoides*, *Bac. mesentericus*. Разнообразие выделенных бактериальных форм позволяет авторам заявить о целесообразности очистки данных стоков биологическим методом.

Состав биоценоза активного ила очистных сооружений свинооткормочного комбината «Восточный» Ленинградской области был исследован И. А. Архипченко (1979), которая обратила особое внимание на группы микроорганизмов, участвующих в разложении клетчатки и азотсодержащих соединений сточной жидкости.

Интерес к микробиологическим методам очистки стоков, проявляемый в последние годы микробиологами всех стран, свидетельствует о том, что инженерно-технические разработки уже не могут внести существенного вклада в решение проблемы очистки сточных вод, а новые пути интенсификации этих процессов нужно искать в использовании неограниченных приспособительных возможностей микроорганизмов. Создание научных основ микробиологической очистки животноводческих стоков имеет большое теоретическое значение и может обогатить практику биологической очистки новыми методами защиты окружающей среды от загрязнений (Ставская и др., 1979).

Объектом наших исследований был свиноводческий комплекс совхоза-комбината им. 60-летия БССР, расположенный в Минской области. Он действует с 1977 г. Здесь образуется около одного миллиона кубометров навозных стоков в год, что по степени загрязняющего воздействия на окружающую среду соответствует стокам города с населением около 150 тыс. человек (Муромцев и др., 1978).

Особенностью утилизации отходов на данном свиноводческом комплексе является то, что образующийся в результате гидросмыва жидкий навоз (3 тыс. м³/сут) с помощью вибросита разделяется на твердую и жидкую фракции, содержащие соответственно 20—22 и 1,0—1,5% сухого вещества. Твердая фракция

используется в качестве компонента комбинированного гранулированного корма для крупного рогатого скота либо выдерживается определенное время в буртах и затем применяется в качестве удобрения. Жидкая фракция проходит биологическую очистку в аэротенках и после отстаивания в отстойниках в виде осветленного стока отводится на очистные сооружения г. Борисова. После доочистки она сбрасывается в р. Березину. Образующийся при биологической очистке в отстойниках и на иловых полях осадок (ил) используется в качестве удобрения.

Из сказанного следует, что жидкий сток и ил — это основные источники загрязнения почв и вод в зоне действия комплекса, поэтому свойственные им виды микроорганизмов явились объектами наших исследований. Одновременно изучали динамику состава и деятельности микрофлоры компостов, приготовленных на основе избыточного ила и сапропеля (Мильто и др., 1981 б, в; 1982 в; Ворочаева и др., 1982).

Критерии функционального состояния микрофлоры активного ила еще не разработаны. Этим в значительной мере объясняется тот факт, что для контроля функционирования очистных систем животноводческих комплексов промышленного типа до сих пор применяются только химические методы, не учитывающие деятельность микрофлоры активного ила как основного фактора биоочистки (Архипченко, 1979).

В связи с вышеизложенным в задачу наших исследований входило:

- 1) изучение состава и активности микрофлоры жидкой и твердой фракций свиного навоза и активного ила;
- 2) определение основных факторов, активизирующих деятельность функционально важных групп микроорганизмов активного ила;
- 3) исследование изменений состава и активности микрофлоры при смешивании избыточного ила с сапропелем.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОБСЕМЕНЕННОСТЬ СВИНОГО НАВОЗА МИКРООРГАНИЗМАМИ

Состав навозосодержащих стоков зависит от соотношения твердых и жидких экскрементов, количество которых меняется в зависимости от кормового рациона животных. По данным И. С. Естифеевой и др. (1978), навоз в среднем содержит 5% азота, 2,1 фосфора (P_2O_5) и 2,5% калия (K_2O) от массы сухого вещества свежих экскрементов. Разбавление навоза водой в процессе гидросмыва снижает количество органоминеральных компонентов примерно до указанных ниже величин: сухое вещество — 10%, углерод (C) — 6,3%, азот общий (N) — 0,5%, фосфор (P) — 0,10%, калий (K) — 0,20%; C : N — 11, pH — 7,0.

На свиноводческом комплексе совхоза-комбината им. 60-ле-

тия БССР в 1 л среднесуточной пробы жидкого навоза, поступающего на биологическую очистку, содержится 7,3% сухого вещества. Потеря при прокаливании составляет 15,7%. Из этого следует, что навозный сток комплекса имеет несколько повышенную обводненность. Химические свойства навозного стока и продуктов его переработки в процессе очистки трудно характеризовать средними нормативными показателями. Это обусловлено тем, что состав навозных компонентов подвержен значительным колебаниям и зависит от многих факторов.

При очистке навозных стоков происходит перераспределение питательных веществ. Большая часть их концентрируется в осадке, меньшая — в избыточном иле, но физиологически более важная часть остается в жидкой фазе.

В литературе приводятся различающиеся между собой требования к степеням очистки жидкого навоза. Указывается, в частности, что общее содержание органических и неокисленных минеральных веществ в сточной жидкости определяется величиной химического потребления кислорода (ХПК). Под ХПК подразумевается количество кислорода в миллиграммах, необходимое для полного химического окисления всех загрязнений (в том числе и органических), находящихся в 1 л сточной жидкости. Загрязненность стоков веществами, доступными процессу биологического окисления, определяется ее биохимической потребностью в кислороде (БПК). На практике определение БПК ведут в течение 5 сут и получают величину пятисуточного потребления кислорода, обозначаемую БПК₅ (Вольф и др., 1973).

R. Loehr (1971) и H. Bernard (1969) указывают, что показатель БПК₅ после очистки навоза должен уменьшаться на 85—95%. Показатели же обработанного жидкого навоза перед спуском в водоемы, по данным (Океу, 1969), не должны превышать следующих значений (в мг/л): ХПК — 100, БПК₅—20, твердые взвешенные вещества — 20, азот — 1,0, фосфор — 0,5.

Мы исследовали изменение содержания органического вещества и различных форм азотных соединений в процессе очистки навозных стоков, находящихся в семи основных узлах очистной системы (рис. 1):

- 1 — жидкий навоз, поступающий из свиарников в приемный резервуар;
- 2 — сток от разделения жидкого навоза на виброситах;
- 3 — сток в первичном отстойнике;
- 4—6 — сток в 3 параллельно работающих аэротенках;
- 7 — сток из отстойников аэротенков к канализационной насосной станции.

Как видно из данных табл. 1, содержание общего и аммиачного азота в сточной жидкости в процессе очистки остается почти без изменений, за исключением узла на выходе из трех отстойников, что может быть обусловлено различными сроками нахождения стоков в отстойниках. Количество общего азота в аэротен-

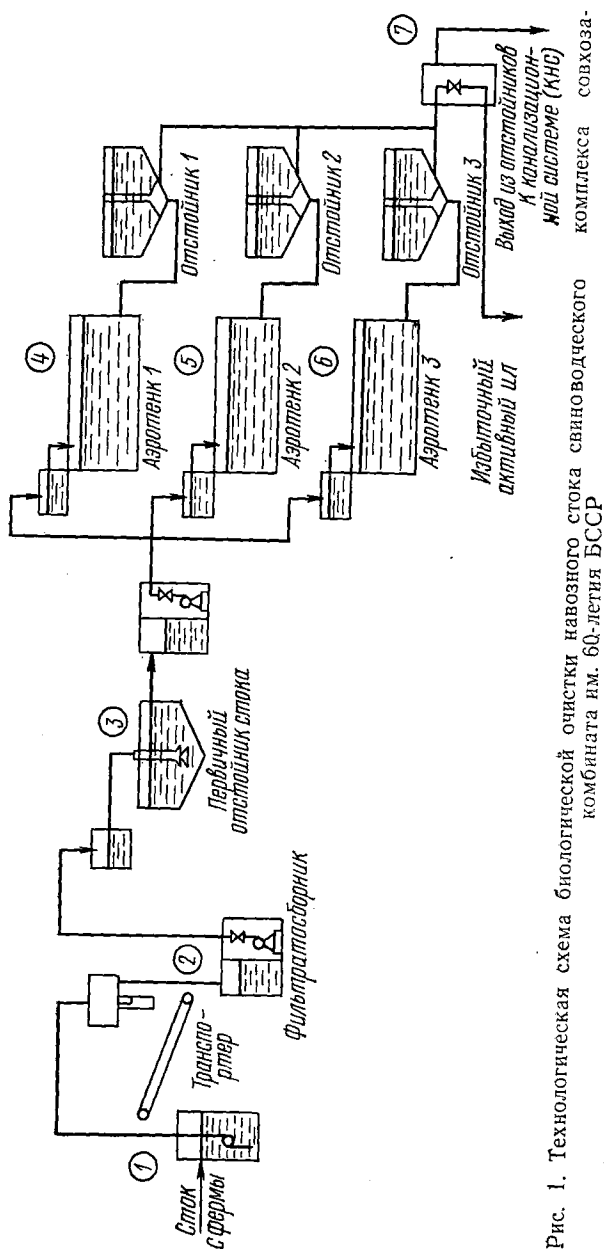


Рис. 1. Технологическая схема биологической очистки навозного стока свиноводческого комплекса им. 60-летия БССР

Таблица 1. Изменение содержания азота в навозном стоке по отдельным звеньям очистной системы в различные сроки наблюдений

Место отбора пробы	N _{общ}			N _{ам}			N _{нитрит}		
	май	июнь	октябрь	май	июнь	октябрь	май	июнь	октябрь
	мг/мл			% от содержания общего азота					
Приемный резервуар	0,80	0,80	0,80	82	51	90	0	0	0
Фильтратосборник	1,00	0,70	1,30	60	51	54	0	0	0
Первичный отстойник	0,50	0,30	0,50	44	100	60	8	13	Следы
Аэротенк 1	0,40	0,70	0,70	42	8	Следы	Следы	2,5	1
Аэротенк 2	0,80	1,00	1,00	50	80	10	1	0	0
Аэротенк 3	0,60	0,40	0,40	50	35	15	11	20	Следы
Выход из трех отстойников	0,40	0,30	0,30	62	40	80	0	0	0

Примечание. N_{общ} — азот общий, N_{ам} — азот аммиачный, N_{нитрит} — азот нитритный.

Таблица 2. Изменение содержания общего (C) и окисляемого бихроматом (C_{о.б}) углерода в навозном стоке, взятом в различных звеньях очистной системы

Место отбора пробы	Май			Июнь			Октябрь		
	С	С _{о.б}	С:С _{о.б} %	С	С _{о.б}	С:С _{о.б} %	С	С _{о.б}	С:С _{о.б} %
	мг/мл			мг/мл			мг/мл		
Приемный резервуар	3,1	1,2	38,7	6,2	1,1	17,7	7,7	1,7	22,1
Фильтратосборник	2,7	1,7	63,0	3,6	1,7	47,2	10,8	4,3	39,8
Первичный отстойник	1,1	1,0	90,9	5,2	0,3	5,8	3,0	2,7	99,0
Аэротенк 1	2,6	0,2	7,7	1,1	0,1	9,1	4,9	0,7	14,3
Аэротенк 2	4,0	0,3	7,5	0,4	0,3	75,0	3,1	0,4	12,3
Аэротенк 3	3,7	0,2	5,4	0,3	0,3	100,0	2,5	0,7	28,0
Выход из трех отстойников	0,7	0,7	100,0	2,1	1,8	85,7	1,4	0,3	21,4

ках такое же, как и в исходных стоках. Аммиачный азот составляет 40—80% от общего и лишь в отдельных случаях достигает 90—100%. В аэротенках аммиачный азот усваивается, а также окисляется микрофлорой активного ила до нитритов и нитратов. Содержание последних очень незначительно или они вовсе не обнаруживаются, что указывает на слабую интенсивность процесса нитрификации в условиях лимита кислорода.

Установить эффективность очистки стоков по количеству восстановленных и окисленных форм азота трудно, так как их образование носит реверсивный характер в зависимости от степени аэрации навозного стока. Одним из показателей степени очистки стоков является содержание в них органического вещества. Проведенные анализы показали, что общее содержание углерода в стоке из приемного резервуара изменяется от 3,1 до 7,7 мг/мл (табл. 2). Во втором узле очистки самая высокая нагрузка по

органическому веществу (10,8 мг/мл) наблюдается в октябре. Однако и степень очистки стоков в это время самая высокая — 87%, тогда как в мае и июне она составляет соответственно 74 и 42%. Величины окисления бихромата, дающие представление о содержании легкогидролизуемых органических веществ активного ила аэротенков, очень изменчивы и колеблются от 1—8 до 100% от общего содержания углерода. Такая пестрота показателей, по-видимому, является следствием как динамичности про-

Таблица 3. Обсемененность микроорганизмами жидкого навоза и активного ила

Группа микроорганизмов	Количество микроорганизмов в 1 г ас. сух. вещества	
	жидкий навоз	активный ил
Аммонифицирующие бактерии	$1,2 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$
Уробактерии	$9,4 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^9$
Бактерии, растущие на среде с навозным стоком	$9,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^8$
Нитрифицирующие бактерии	$2,0 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^4$
Целлюлозоразлагающие микроорганизмы	$2,5 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^4$

цесса окисления органического вещества, так и нестабильности режима работы аэротенков.

Характерной особенностью сточных вод животноводческих комплексов является присутствие в них значительного количества различных микроорганизмов (Нанштейн и др., 1977; Романенко и др., 1974). Благодаря наличию в сточных водах клетчатки, мочевины, белков и других соединений в активном иле много уробактерий, аммонификаторов, нитрификаторов и целлюлозо-содержащих бактерий (Максимовский и др., 1976; Балыкин, 1977).

Учет численности микроорганизмов методом прямого счета под микроскопом позволил установить, что в жидком навозе, поступающем на биологическую очистку, содержится 1,1 млрд/мл клеток, а в 1 мл активного ила — 13 млрд. В микробоценозе активного ила преобладает кокковидная микрофлора, представленная микроколониями, ветвящимися палочками, а также цепочками и конгломератами. Вместе с тем встречаются азотобактероподобные и спороподобные клетки. По морфологическим признакам их можно отнести к группе коринеподобных бактерий и артробактеров (Головлев и др., 1979).

Микробиологические посевы на селективные питательные среды показали, что микробоценозы жидкого навоза, поступающего на очистку, и активного ила идентичны по составу, но количественно отличаются друг от друга (табл. 3).

Т а б л и ц а 4. Микробиологическая характеристика активного ила в весенне-осенний период (средние данные по 3 аэротенкам)

Группа микроорганизмов	Количество микроорганизмов, тыс/мл		
	май	июнь	октябрь
Аммонифицирующие	1120	2573	12716
Уробактерии	2626	1123	1970
Бактерии, растущие на навозном агаре	1426	1433	14581
Микроорганизмы, усваивающие минеральные формы азота	3623	2230	13563
Нитрификаторы	3	!	22
Целлюлозоразлагающие	7	0,1	0,3
Всего	8805	7361	42582

Из табл. 3 видно, что в жидком навозе преобладают аммонифицирующие бактерии и меньше всего нитрифицирующих. В активном иле доминируют уробактерии, сравнительно сильное развитие имеют нитрификаторы, целлюлозоразлагающие микроорганизмы незначительно увеличивают свою численность. Отмеченные изменения хорошо иллюстрируют особенности перестройки микробного ценоза жидких свиных отходов в процессе их биоочистки. Наибольшим количеством представлены виды бактерий родов *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*. Встречаются споровые формы *Bac. mesentericus*, *Bac. cereus*, *Bac. megaterium*. Наличие хемоорганотрофных видов микроорганизмов в активном иле говорит о значительных количествах в нем неорганических элементов (Hughes et al., 1976).

Количественный состав микроорганизмов активного ила из рабочих аэротенков изучали в различные сроки с целью установления влияния сезонных колебаний на состав микрофлоры активного ила (табл. 4). Выявлено, что количество микроорганизмов в аэротенках весной и летом примерно одинаково. Осенью заметно возрастает численность всех учитываемых групп микроорганизмов, что может быть объяснено более высоким содержанием углерода и общего азота в жидкой фракции навоза (см. табл. 2), а также снижением температуры аэрируемого стока до более благоприятного уровня.

СТИМУЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МИКРОФЛОРЫ АКТИВНОГО ИЛА АЭРОТЕНКОВ

Плотность микробной популяции и соотношение основных групп микроорганизмов, входящих в биоценоз активного ила, не всегда отражают биохимическую активность и физиологическое состояние микроорганизмов.

W. Buckteeg, H. Thile (1964) была показана возможность применения для оценки физиологического состояния микрофлоры ила дегидрогеназной активности. Н. М. Казаровец (1969), а позже Л. И. Гюнтер (1972), исследуя дегидрогеназную активность

Таблица 5. Активность дегидрогеназы в системе биоочистки

Место отбора пробы	Дегидрогеназная активность		
	май	июнь	октябрь
Приемный резервуар	0,12	0,15	0,60
Фильтратосборник	0,10	0,15	0,51
Первичный отстойник	0,02	0,11	0,30
Аэротенк 1	0,11	Следы	1,30
Аэротенк 2	Следы	0,02	0,84
Аэротенк 3	»	Следы	0,66
Выход из отстойников	0,14	»	Следы

ила в процессе развития популяции микроорганизмов, установили, что максимальное значение ферментативной активности, равное 4,5 мкг формазана на 1 мг ила, наблюдается в логарифмической фазе, а в стационарной фазе дегидрогеназная активность микрофлоры значительно ниже. Впоследствии было показано существование прямой зависимости между величиной дегидрогеназной активности, скоростью потребления кислорода и количеством живых организмов (Kralwijk, Drent, 1974).

Мы определяли активность ряда ферментов, ответственных за разложение различных компонентов навозного стока. Одним из наиболее достоверных признаков продуктивности микробных ценозов является уровень их дегидрогеназной активности (Гюнтер, 1972).

Данные о дегидрогеназной способности микрофлоры в системе биоочистки, выраженные показателями поглощения (А), приведены в табл. 5. Из таблицы видно, что она по всем узлам биоочистки характеризуется низкими показателями в весенне-летний период и значительно возрастает осенью. Эти данные хорошо согласуются с данными табл. 4.

Микрофлора активного ила аэротенков отличается высокой уреазной активностью во все сроки наблюдения: май—5668 мг/л $N_{ам}$, июнь — 6762, октябрь — 7080 мг/л $N_{ам}$. Утилизация органического вещества навозного стока преимущественно микроорганизмами дает возможность регулировать этот процесс в желаемом направлении. Однако необходимо еще знать состав и биохимические свойства микроорганизмов, а также характер их изменений под влиянием внешней среды на разных стадиях очистки (Роговская, 1972). Правильный подбор микроорганизмов с заданными физиолого-биохимическими характеристиками открывает реальную перспективу для улучшения работы активного ила и всей системы биоочистки в целом (Балыкин, Погорельская, 1979). Поэтому из активного ила нами были выделены отдельные виды и ассоциативные культуры различных физиологических групп микроорганизмов и изучена их активность в отношении разложения клетчатки и превращения азотсодержащих соединений навозного стока.

Отдельные микроорганизмы и ассоциативные культуры различных физиологических групп, выделенные из активного ила, обнаружили неодинаковую способность роста на стоке, содержащем 700 мг/л общего азота (табл. 6). Наибольший вклад в биомассу активного ила вносят уробактерии и аммонификаторы. Менее значительна доля микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота. Слабый рост этой группы, вероятно, связан с низким содержанием растворенных углеводов в среде при относительно высоком содержании аммонийного азота, что не может не сказаться на развитии этих микроорганизмов.

Типичные представители целлюлозоразлагающих микроорганизмов были выделены в чистую культуру, у 37 штаммов определена способность синтезировать C_2 - и C_x -ферменты при выращивании на различных углеродсодержащих субстратах. По данным табл. 7, выделенные микроорганизмы обладают низкой активностью, которая для C_2 -фермента не превышает 0,5, а для C_x -фермента — 1,0 ед/мл. В том случае, когда субстратом служит фильтровальная бумага, количество культур, продуцирующих C_2 -фермент, в 2,0—4,5 раза выше, чем на животноводческих отходах. Однако при использовании в качестве субстрата органических отходов возрастает число культур, продуцирующих C_x -фермент.

Как уже отмечалось, химический состав и реакция сточных вод, поступающих в систему биоочистки, подвержены значительным колебаниям. В связи с этим представляет интерес изучение

Таблица 6. Накопление биомассы различными микроорганизмами на свином навозном стоке

Микроорганизмы	Биомасса, г/л
Уробактерии	6—30
Аммонифицирующие бактерии	2—20
Споровые аммонифицирующие бактерии	7—13
Микроорганизмы, усваивающие минеральные формы азота	3—8

Таблица 7. Распределение культур микроорганизмов по активности ферментов при культивировании их на различных субстратах, %

Субстрат	C ₂ -активность		C _x -активность	
	ед/мл			
	0,05—0,1	0,2—0,5	0,05—0,1	0,2—1,0
Фильтровальная бумага	35	3	35	11
Свиной навоз	16	—	30	—
Навоз крупного рогатого скота	8	—	27	—

целлюлазной активности выделенных культур в зависимости от рН стоков (рис. 2).

Наши исследования показали, что максимальное количество культур, проявляющих повышенную целлюлазную активность, требует для своего развития нейтральной и слабощелочной реакции среды, причем оптимум рН для активных продуцентов C_x -фермента несколько больше сдвинут в сторону щелочной реакции по сравнению с продуцентами C_2 -фермента. Поэтому от-

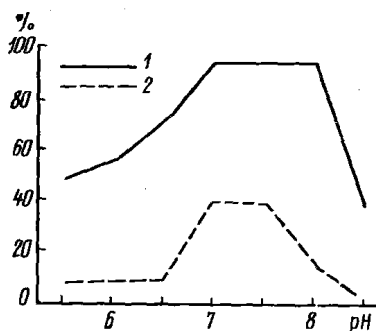


Рис. 2. Распределение микроорганизмов активного ила (%) по способности проявлять активность C_2 - и C_x -целлюлазы на жидком свином навозе с различным значением pH: 1 — активность C_x -целлюлазы, 2 — активность C_2 -целлюлазы

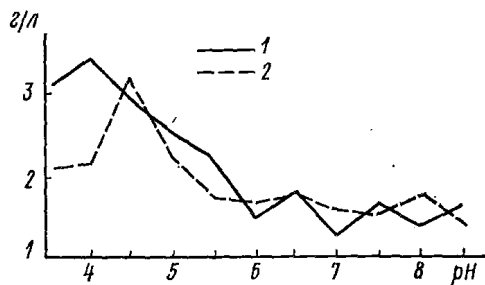


Рис. 3. Накопление биомассы дрожжами *Pichia fermentans* (1) и *Trichosporon cutaneum* (2) на жидком свином навозе при различном значении pH

клонение pH стоков от значений 7,0—8,0 ведет к подавлению развития и активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Одной из детально исследованных нами групп углеродпревращающих микроорганизмов были дрожжи. Количество их в стоках колеблется от 0,5 до 7,0 тыс. клеток в 1 мл. Максимальное количество их обнаружено в аэротенках в июле месяце. По видовому составу дрожжевая флора навозного стока отличается большим разнообразием. 2 штамма как наиболее характерные представители активного ила выделены в чистую культуру и определены до вида. Штамм 24с отнесен к *Pichia fermentans* Lodder, а 28с — к *Trichosporon cutaneum* (Ворочаева и др., 1981).

Диапазон pH, в котором отмечен рост указанных видов дрожжей, весьма широк (рис. 3). Оптимумы pH для накопления биомассы у исследованных видов довольно близки и составляют соответственно 4,0 и 4,5. Характерно, что и при повышении pH от 6,0 до 8,5 уровень накопления биомассы обоими видами снижается сравнительно слабо. Это указывает на возможность их развития в навозных стоках, реакция которых в процессе биоочист-