

УДК 628.35:628.381.1

# ЛОКАЛЬНЫЕ БИОСТАНЦИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СТОКОВ В БИОУДОБРЕНИЯ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

## LOCAL BIOLOGICAL STATION DEEP PROCESSING OF SEWAGE INTO BIOFERTILIZER FOR CROP PRODUCTION

**А.Е. Новиков<sup>1,2</sup>**, доктор технических наук, доцент,  
**Е.А. Дугин<sup>3</sup>**,  
**М.И. Филимонов<sup>1,2</sup>**,  
**Т.Г. Константинова<sup>1</sup>**

**A.E. Novikov<sup>1,2</sup>**, doctor of technical sciences, associate professor,  
**E.A. Dugin<sup>3</sup>**,  
**M.I. Filimonov<sup>1,2</sup>**,  
**T.G. Konstantinova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,

<sup>1</sup>The All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture,

<sup>2</sup>Волгоградский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Volgograd State Technical University,

<sup>3</sup>ООО «Научно-промышленное объединение «Ортех-ЖКХ»

<sup>3</sup>ООО «Scientific-industrial Association «ORTEKH-utilities»

С ростом коттеджных и загородных поселков, не имеющих возможности подключения к централизованным системам канализации, увеличилась и техногенная нагрузка на экосистемы. Большие объемы хозяйственно-бытовых сточных вод, образующиеся от автономных объектов жилищно-коммунального хозяйства, актуализировали проблему качественной очистки и утилизации стоков, а также экологического благополучия этих территорий. Решение этого вопроса достигается современными и компактными модульными станциями биологической очистки стоков, которые за счет своей оптимальной конструкции с легкостью монтируются в существующие септики, обеспечивают глубокую деструкцию биогенных элементов в условиях нитрификации и денитрификации и рациональное использование вторичных ресурсов. В частности, очищенной воды для полива приусадебного хозяйства или других технических нужд, а илового осадка в качестве обогащенного макро- и микроэлементами питания биоудобрения. Экологические технологии безотходного производства, в том числе утилизация избыточного ила после станций биологической очистки сточных вод на сельскохозяйственных полях в качестве биоудобрения, являются весьма перспективными направлениями стабилизации деградационных процессов снижения плодородия почв, а также повышения их влагоемкости. Выполненные полевые исследования по оценке влияния различных доз биоудобрения на загрязнение почвы тяжелыми металлами, а также на качество и урожай клубней картофеля, возделываемого на семенной материал в орошаемых условиях Нижнего Поволжья, подтвердили его высокую эффективность и экологичность.

With the growth of cottage and suburban settlements that do not have the ability to connect to centralized Sewerage systems, the anthropogenic load on ecosystems has increased. Large volumes of domestic wastewater generated from Autonomous objects of housing and communal services, actualized the problem of quality treatment and disposal of wastewater, as well as the environmental well-being of these areas. The solution of this problem is achieved by modern and compact modular stations of biological wastewater treatment, which due to its optimal design are easily mounted in existing septic tanks, provide deep destruction of nutrients in the conditions of nitrification and denitrification and rational use of secondary resources. In particular, purified water for irrigation of household or other technical needs, and sludge as enriched with macro-and micronutrients biofertilizer. Environmental technologies of waste-free production, including the utilization of excess sludge after biological wastewater treatment plants in agricultural fields as biofertilizer, are very promising areas for stabilizing the degradation processes of reducing soil fertility, as well as increasing their moisture capacity. The performed field studies to assess the impact of different doses of biofertilizer on soil contamination with heavy metals, as well as the quality and yield of potato tubers cultivated on seed in irrigated conditions of the Lower Volga region, confirmed its high efficiency and environmental friendliness.

**Ключевые слова:** биостанция, хозяйственно-бытовые сточные воды, иловой осадок, биоценоз, биоудобрение, тяжелые металлы, картофель

**Key words:** biological station, domestic wastewater, sludge, biocenosis, biofertilizer, heavy metals, potatoes

**Введение.** Экологические технологии утилизации илового осадка переработанных стоков на сельскохозяйственных полях в качестве биоудобрения относятся к перспективным направлениям стабилизации деградационных процес-

сов снижения плодородия почв, повышения их влагоемкости и урожайности сельскохозяйственных культур, что осо-

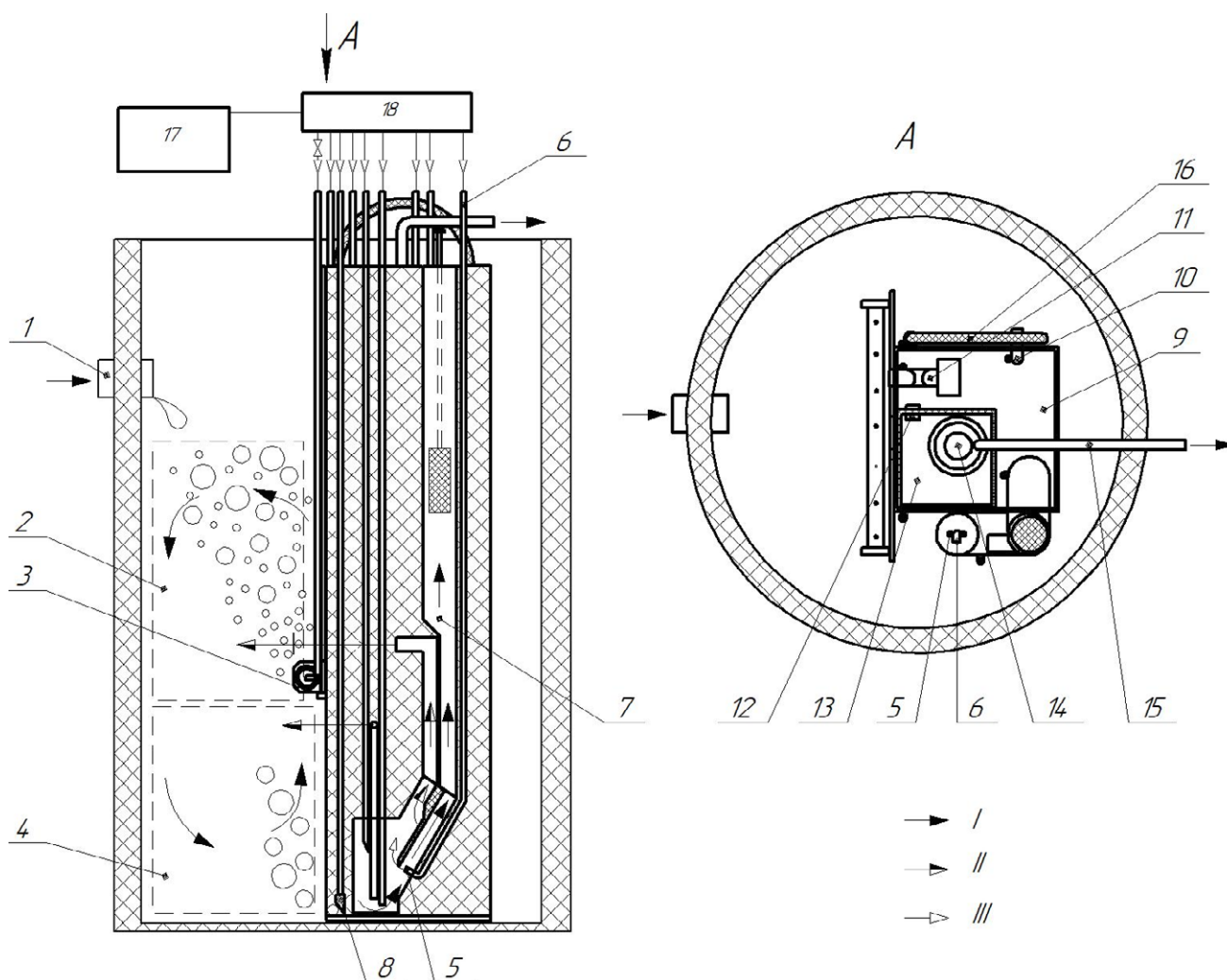


Рисунок 1 – Модульная биостанция очистки стоков:  
I – иловая смесь, II – воздушно-иловая смесь, III – воздух  
(позиции по тексту)

бенно актуально для условий климата с недостаточным и неустойчивым увлажнением [7].

Биологические процессы переработки стоков наиболее эффективные из известных методов, так как обеспечивают очистку и удаление свободно плавающим биоценозом активного ила азота и фосфора. Основная сложность одновременного удаления этих биогенных элементов состоит в том, что для их изъятия требуются разные условия – нитрификации и денитрификации. Варьирование видового и количественного состава микроорганизмов от оптимального значения вследствие отклонений от режимов технологического процесса снижает седиментационные характеристики активного ила и интенсивность продукционно-деструкционных процессов в биоценозе [4].

Проблема качественной очистки стоков автономных объектов ЖКХ обусловлена невозможностью как их подключения к централизованным канализационным системам, так и рациональной организации биохимических

процессов глубокой деструкции органики в локальных септиках и вторичного использования ресурсов [1, 8].

Таким образом, цель проведенного исследования заключалась в разработке биостанции для локальной обработки хозяйственно-бытовых стоков и апробации илового осадка в качестве биоудобрения при возделывании картофеля.

**Материалы и методы.** Осадок утилизировали в качестве биоудобрения на сельскохозяйственных полях при возделывании картофеля (сорт Ароза) на семенной материал.

Для оценки эффективности и экологичности биоудобрения был заложен однофакторный опыт по изучению влияния различных доз осадка (20, 40 и 60 т/га) на количественные и качественные показатели клубней картофеля. На контроле использовали минеральный комплекс в дозе  $N_{150}P_{60}K_{135}$  (P и K – под основную обработку почвы, N – под посадку культуры).

Предполивной порог влажности почвы поддерживали капельным способом на уровне не ниже 80% НВ в слое почвы

0,4 м в фазу цветения картофеля и 70% НВ в слое почвы 0,6 м в остальные фазы вегетации культуры [2, 3].

Эффективность биоудобрения определяли по урожаю клубней картофеля, а его экологичность – по загрязнению почвы Z (МУ 2.1.7.730-99) и по оценке качества клубней картофеля на соответствие нормативам (СанПиН 2.3.2.1078-01):

$$Z = \sum_{i=1}^n (C_i / C_f) - (n - 1)$$

где n – количество компонентов;  $C_i$  – фактическое содержание i-го компонента в почве, мг/кг;  $C_n$  – фоновое содержание i-го компонента в почве, мг/кг.

Определение качественных показателей клубней картофеля и тяжелых металлов (ТМ) в почве выполняли в аналитической лаборатории.

**Результаты и обсуждение.** С учетом опыта проектирования сооружений биочистки сточных вод была разработана модульная станция для автономных объектов ЖКХ (рис. 1; [5, 6]), которая монтируется в стандартный септик.

Таблица 1 – Характеристика валовых форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы

Тяжелые металлы	Допустимая концентрация, мг/кг		Концентрация при дозах биоудобрения в вариантах опыта, мг/кг			
	ПДК	ОДК	контроль	20 т/га	40 т/га	60 т/га
Cd	1,0	2,0	0,16	0,39	0,40	0,59
Pb	65,0	130,0	16,00	16,21	17,50	17,70
Zn	110,0	220,0	44,00	44,40	45,43	46,32
Cu	65,0	132,0	16,00	16,27	17,37	17,98

Таблица 2 – Оценочные показатели клубней картофеля\*

Доза биоудобрения, т/га	Тяжелые металлы, мг/кг				Урожайность, т/га	Крахмал, %	Нитраты, мг/кг (250)	Сухое вещество, %
	Cd (0,03)	Pb (0,5)	Zn (10)	Cu (5)				
контроль	0,015	0,81	7,97	5,65	20,6	12,64	35,7	20,32
20	0,016	0,82	8,86	6,07	21,9	12,96	36,0	20,45
40	0,020	0,84	10,47	6,54	23,7	13,32	137,0	21,46
60	0,024	0,87	11,14	7,07	26,4	14,24	227,0	22,54

\*В скобках даны значения максимально допустимого уровня ТМ для овощей

При работе биостанции стоки через входной патрубок 1 поступают в зону окисления 2 приемной камеры азротенка, где за счет вертикально-ступенчатой аэрации поддерживается высокий уровень растворенного кислорода. Под действием мелкопузырчатого аэратора 3 в приемной камере происходят процессы окисления и разложения органики и регенерации иловой смеси, поступающей из вторичного отстойника. Далее стоки попадают в анаэробную зону 4. Из-за недостатка кислорода биоценоз в анаэробной зоне начинает поглощать кислород из образованных в зоне окисления нитритов и нитратов.

Через воздушную пробку, образованную обдувкой 5 циркуляционного эрлифта 6, иловая смесь поступает в илоотделитель 7, где проходит через делитель потока, плавающую биоаггрегат и каналный успокоитель потока. В делителе потока под действием пузырьков воздуха образуется закрученное движение восходящего потока. Установленная здесь перегородка позволяет отделять вихревой поток от общего, тем самым вынося с собой взвешенные вещества в рециркуляционный канал. Пройдя через делитель потока, стоки фильтруются через биоаггрегат с закрепленными на ней микроорганизмами, служащую дополнительным контуром доочистки от остаточных загрязнений.

К верхней части успокоителя потока подается воздух, его пузырьки образуют противоток течению воды и частично отталкивают взвеси ила от успокоителя, возвращая их на биоаггрегат. Трехступенчатая система илоотделителя позволяет интенсифицировать процесс илоотделения.

Накапливаемый осадок во вторичном отстойнике принудительно по рециркуляционной линии 10 перекачивается в аэробную зону, где в паузах между поступлением стоков проводится регенерация активного ила. При подаче стоков активный ил перемешивается с ними, обеспечивая высокую скорость окисления загрязняющих веществ. На поверхности вторичного отстойника в результате седиментации образуется биопленка, удаление которой производится U-образным эрлифтом 11. Далее очищенные стоки через переливной патрубок 12 поступают в накопительную емкость чистой воды 13, откуда по гружному насосу 14 в автоматическом режиме перекачиваются по напорному трубопроводу 15 за пределы модульной биостанции.

Избыточный активный ил удаляется из придонной части анаэробной зоны эрлифтом 16. Для системы аэрации и работы эрлифтов биостанция оборудована мини-компрессором 17. Подача воздуха осуществляется по элементам модуля

через шланги ПВХ, подсоединенные к жиклерам технологических элементов, в постоянном режиме через воздухораспределительный бачок 18.

При использовании илового осадка в качестве биоудобрения экологическому контролю подлежат валовые формы ТМ, содержание которых отражает потенциальную опасность загрязнения растительной продукции, инфильтрационных и поверхностных вод. По степени токсичного воздействия на почву ТМ к 1 классу относятся химические вещества Cd, Pb, Zn, As, Hg, Se, F и  $C_{20}H_{12}$ .

С учетом химического состава бытовых стоков были проведены наблюдения за динамикой поступления кадмия, свинца, цинка и меди (элемент 2 класса опасности) в почву (таблица 1) и клубни картофеля (таблица 2).

Степень загрязнения почвы тяжелыми металлами в вариантах опыта оценивали путем сравнения концентрации соответствующего ТМ с его предельно допустимой концентрацией (ПДК) или ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) и фоновым содержанием, а также по показателю загрязнения (Z). Анализ результатов показал, что содержание всех наблюдаемых элементов в пахотном слое почвы не превышало ПДК и ОДК. Индекс загрязнения почвы варьировал от 2,5 ед. в варианте с дозой внесения биоудобрения 20 т/га до 4,0 ед. в ва-

рианте с дозой внесения биоудобрения 60 т/га. По принятой классификации, при Z<16 почва относится к категории с допустимым загрязнением.

Химический состав растений отражает элементный состав почвы. Избыточное накопление ТМ клубнями картофеля было обусловлено их концентрацией в почве, а также некорневым поглощением из воздушных потоков. Качество клубней картофеля зависит от содержания в них крахмала, сухого вещества и нитратов. Продукция считается качественной при содержании крахмала от 10 до 24%, сухого вещества от 20 до 30% и нитратов не более 250 мг/кг. Относительно ТМ продукция считается «чистой» при их содержании ниже ПДК; «условно годной» – выше ПДК, но не более 2 ПДК; негодной – более

2 ПДК. Полученные данные показали, что клубни экспериментального картофеля по показателям: крахмалистость, нитраты и сухое вещество относятся к качественной продукции, а по содержанию тяжелых металлов – к «чистой» и «условно годной» продукции. При этом, учитывая семенную направленность производства клубней картофеля, наличие поллютантов в пределах от 1 ПДК до 2 ПДК нивелируется в дальнейшем при выращивании товарного картофеля.

Эффективность биоудобрения оценивали по урожаю клубней картофеля. Статистической обработкой данных было доказано, что все различия существенны и значимы. Урожай клубней на вариантах с дозами внесения биоудобрения 20 т/га, 40 т/га и 60 т/га превышал контрольный вариант соответственно на 1,35 т/га, 3,15 т/га и 5,85 т/га ( $HC_{05} = 0,74$  т/га) или на 6,3%, 15,0% и 28,2% соответственно.

**Заключение.** Разработанная модульная станция и технология обработки стоков от автономных объектов ЖКХ обеспечивают полное удаление нитритов и нитратов, а глубоко минерализованный избыточный активный ил, образующийся в результате протекания процесса биоочистки, представляет собой комплексное органоминеральное нетоксичное биоудобрение.

### Библиографический список

1. Дубенок, Н.Н. Продуктивность различных сортов картофеля при капельном орошении в Нижнем Поволжье / Н.Н. Дубенок, Д.А. Болотин, А.Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – №2 (46). – С. 28-37.
2. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
3. Патент RU173043 Устройство биоочистки / В.В. Ясакин, Е.А. Дугин, А.Е. Новиков и др. – Оpubл. 08.08.2017.
4. Патент RU173044 Устройство биологической очистки сточных вод / В.В. Ясакин, Е.А. Дугин, А.Е. Новиков и др. – Оpubл. 08.08.2017.
5. Пындак, В.И. Решение проблем отходов и плодородия деградированных земель (на примере Нижнего Поволжья) / В.И. Пындак, А.Е. Новиков, Ю.А. Степкина // Научное обозрение. – 2013. – №4. – С. 85-89.
6. Эффективное использование сточных вод и их осадка для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур: монография / А.В. Шуравили, А.С. Овчинников, Н.В. Сурикова и др. – Волгоград: «Нива», 2009. – 636 с.
7. An innovative design of septic tank for wastewater treatment and its performance evaluation: An applicable model for developing countries / S. Haydar, M. Anis, G.E. Hina et al. // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2018. – 26 (4). – P. 886-891.
8. Li, F. The application analysis of sprinkling and drip irrigation technology in the ecological environment construction / F. Li, X. Liang, K. Chen // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 684. – P. 242-245.

### Дополнительные сведения об авторах:

**Андрей Евгеньевич Новиков**, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций<sup>1</sup>, заведующий кафедрой процессы и аппараты химических и пищевых производств<sup>2</sup>, ae\_novikov@mail.ru,

**Евгений Александрович Дугин**, заместитель генерального директора по производству<sup>3</sup>, dugin\_evg@mail.ru,

**Максим Игоревич Филимонов**, младший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры процессы и аппараты химических и пищевых производств<sup>2</sup>, maks.filimonov.1986@mail.ru,

**Татьяна Геннадьевна Константинова**, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций<sup>1</sup>, tg.konstantinova.55@mail.ru

### Bibliographic list

1. Dubenok, N.N. Productivity of different potato varieties under drip irrigation in the Lower Volga region / N.N. Dubenok, D.A. Bolotin, A.G. Bolotin // Proceedings of the lower Volga agricultural University complex: Science and higher professional education. – 2017. – №2 (46). – P. 28-37.
2. Zhmur, N.S. Technological and biochemical processes of wastewater treatment at facilities with aeration tanks / N.S. Zhmur. – M.: AKVAROS, 2003. – 512 p.
3. Patent RU173043 Device of bioremediation / V.V. Yasakin, E.A. Dugin, A.E. Novikov et al. – Publ. 08.08.2017.
4. Patent RU173044 Device biological wastewater treatment / V.V. Yasakin, E.A. Dugin, A.E. Novikov et al. – Publ. 08.08.2017.
5. Pyndak, V.I. Solution of problems of waste and degraded land (on the example of Lower Volga region) / V.I. Pyndak, A.E. Novikov, Yu.A. Stepinkina // Scientific review. – 2013. – №4. – P. 85-89.
6. Effective use of wastewater and its sludge for irrigation and fertilization of agricultural crops: monograph / A.V. Shuravilin, A.S. Ovchinnikov, N.V. Surikova et al. – Volgograd: «Niva», 2009. – 636 p.
7. An innovative design of septic tank for wastewater treatment and its performance evaluation: An applicable model for developing countries / S. Haydar, M. Anis, G.E. Hina et al. // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2018. – 26 (4). – P. 886-891.
8. Li, F. The application analysis of sprinkling and drip irrigation technology in the ecological environment construction / F. Li, X. Liang, K. Chen // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 684. – P. 242-245.

### Additional information about the authors:

**Andrey Evgenievich Novikov**, senior researcher of the department of irrigation and reclamation<sup>1</sup>, head of the department processes and apparatus of chemical and food production<sup>2</sup>, ae\_novikov@mail.ru,

**Evgeny Alexandrovich Dugin**, deputy general director for production<sup>3</sup>, dugin\_evg@mail.ru,

**Maxim Igorevich Filimonov**, junior researcher of the department of irrigation and reclamation<sup>1</sup>, senior lecturer of the department processes and devices of chemical and food industry<sup>2</sup>, maks.filimonov.1986@mail.ru,

**Tatyana Gennad'evna Konstantinova**, senior researcher of the department of irrigation and reclamation<sup>1</sup>, tg.konstantinova.55@mail.ru