

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД НА БИОЦЕНОЗ АКТИВНОГО ИЛА

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Л.В. Брындина**

аспирант **А.Ю. Корчагина**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Российская Федерация

Сточные воды агропромышленных комплексов богаты органическими компонентами. Наиболее универсальной считается их биологическая очистка. Она обеспечивает высокую скорость протекания процессов биодеструкции загрязнений. Но из-за высокой концентрации поступающих загрязнений микробиом активного ила может снизить свою очищающую способность. Для эффективного разложения таких соединений необходима высокая скорость аэрации, так как в составе активного ила преобладают аэробные микроорганизмы. Часто в реальных условиях времени на окисление этих веществ микробными сообществами недостаточно. Этот дисбаланс между поступающими органическими веществами и окисленными микробиотой активного ила приводит к росту нитчатых бактерий, являющихся одной из причин вспухания активного ила. Для устранения этого негативного фактора было исследовано влияние высоких концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на консорциум микроорганизмов активного ила. Анализ физико-химического состава сточных вод проводили по стандартным методикам. Состав бактериоценоза активного ила, микробиома кишечника свиней определяли стандартными методами посева в жидкие и плотные питательные среды. Установлена корреляционная зависимость между снижением концентрации загрязняющих веществ и регенерацией биоценоза активного ила. Снижение общего уровня загрязнения исходных стоков по ХПК на 59,8 % привело к увеличению численности флокулирующих микроорганизмов на 41,7 %. Благодаря активизации гетеротрофных микроорганизмов наблюдалась глубокая деструкция аминного азота (99 %) и фосфора (71,4 %).

**Ключевые слова:** активный ил, биоценоз, консорциум микроорганизмов, очистка сточных вод

## INFLUENCE OF WASTEWATER POLLUTION ON BIOCENOSIS OF ACTIVE SLUDGE

DSc (Agriculture), Professor **L.V. Bryndina**

Post-graduate student **A.Yu. Korchagina**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",

Voronezh, Russian Federation

### Abstract

Wastewater from agro-industrial complexes is rich in organic components. Biological method is considered to be the most universal for their purification. It provides a high rate of biodegradation of pollution. But due to the high concentration of incoming pollutants, activated sludge microbiome can reduce its cleaning ability. High aeration rate is required for the effective decomposition of such compounds, since aerobic microorganisms predominate in the activated sludge. Under real conditions, the time for the oxidation of these substances by microbial communities is often insufficient. This imbalance between incoming organic matter and oxidized activated sludge microbiota leads to the growth of filamentous bacteria, which is one of the reasons of activated sludge swelling. The influence of high concentrations of pollutants in wastewater on a consortium of microorganisms of activated sludge was investigated to eliminate this negative factor. Physical and chemical composition of the wastewater was carried out according to standard methods. The composition of the activated sludge bacteriocenosis and pig intestine microbiome were determined by standard

methods of inoculation in liquid and solid nutrient media. A correlation between the decrease in the concentration of pollutants and regeneration of activated sludge biocenosis has been established. A 59.8% decrease in the overall level of COD contamination of source effluents led to an increase in the number of flocculating microorganisms by 41.7 %. Deep destruction of amine nitrogen (99 %) and phosphorus (71.4 %) was observed due to the activation of heterotrophic microorganisms.

**Keywords:** activated sludge, biocenosis, consortium of microorganisms, wastewater treatment

### Введение

Активный ил – это хлопья коричнево-бурого цвета, состоящие в основном из бактериальных клеток, на поверхности которых и между которыми находятся разнообразные простейшие организмы.

Источником питания и энергии для жизнедеятельности организмов активного ила служат органические загрязняющие вещества, поступающие со сточной водой. Микроорганизмы активного ила с помощью выделяемых ими ферментов окисляют, расщепляют эти загрязнения в присутствии кислорода до простых неорганических соединений. Часть органических веществ идет на построение новых клеток микроорганизмов, другая часть используется в процессах жизнедеятельности.

Видовой состав активного ила зависит от вида загрязнений, поступающих на очистку [19, 21]. Увеличение объема загрязняющих веществ в сточной воде может привести к росту нагрузки на микроорганизмы активного ила. Это снижает количество флокулирующих бактерий и повышает долю нитчатых микроорганизмов [14, 15]. Такое изменение консорциума микроорганизмов активного ила приводит к его вспуханию. При вспухании меняется структура хлопьев активного ила, ухудшается качество очистки [5, 8]. Вопрос вспухания активного ила остается по-прежнему актуальным для всех биологических способов очистки с использованием аэробных микроорганизмов. Кроме этого, возникает и проблема экологического характера – загрязнение природных водоемов.

Ряд исследователей [18, 24, 26] выделяют несколько причин нитчатого вспухания ила:

– при низкой концентрации загрязняющих примесей нитчатые бактерии растут быстрее флокулирующих;

– нитчатые бактерии в большинстве случаев не способны к полной денитрификации и при недостатке кислорода будут преобладать над флокулирующими [17];

– константа насыщения субстратом зависит от размеров (радиуса колоний микроорганизмов), и у нитчатых микроорганизмов она ниже, что замедляет скорость их роста и увеличивает их конкурентоспособность в сравнении с флокулирующими;

– у нитчатых бактерий отношение площади поверхности к объему выше, что влияет на диффузионные процессы.

Но экспериментальные исследования в этой области противоречивы [22, 23].

Так, А.И. Щетинин с соавторами [16] установили, что, несмотря на высокое содержание нитчатых бактерий, активный ил обладал способностью к нитрификации и денитрификации. Метаболическая селекция не играла существенной роли в подавлении развития нитчатых бактерий.

Meng Zhang [28] определил влияние на вспухание ила видового состава нитчатых микроорганизмов. Так, *Microthrix* размножался при низком иловом индексе и низкой температуре. Данный вид микроорганизма доминирует в активном иле. Это отмечается многими исследователями [20, 25, 27]. *Flavobacterium* проявляет активность при низком соотношении углерода к азоту, *Thiothrix* растет при высокой концентрации в химической потребности в кислороде (ХПК). Все это свидетельствует о том, что на развитие нитевидных бактерий влияет широкий спектр факторов и выделить общий критерий, снижающий их рост, не представляется возможным. Однако отмечается, что высокая концентрация поступающих веществ является одной из основных причин роста нитчатых бактерий [6, 7, 9].

Снижение концентрации поступающих загрязнений в сточные воды позволит регулировать этот дисбаланс. А учитывая постоянное ужесточение требований к сбрасываемым стокам в городскую канализацию, рост тарифов за очистку, внедрение ресурсосберегающей технологии, снижающей исходную концентрацию загрязняющих ве-

ществ стока, позволит активировать сапрофитную микрофлору биоценоза активного ила. Это будет способствовать улучшению качества очистки сточных вод и минимизации нагрузки на водные экосистемы.

Общеизвестно, что содержимое желудочно-кишечного тракта убойных животных смывается в канализацию вместе с другими стоками.

В связи с вышеизложенным, целью нашего исследования было снизить концентрацию загрязняющих веществ, поступающих на очистку, за счет ферментации микробиомом кишечника убойных животных малоценного и непищевого сырья. Это создаст благоприятные условия для жизнедеятельности сапрофитной микрофлоры активного ила, повысит ее ферментативную активность за счет уменьшения концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку, и сделает возможным антагонистически вытеснить нитчатые бактерии.

### Материалы и методы

Объектами исследования были сточные воды и активный ил предприятий АПК г. Воронежа, микробиом кишечника свиней (ООО «Бобровский мясокомбинат»).

Физико-химические исследования активного ила проводили по стандартным методам. Химический показатель кислорода (ХПК) определяли по ГОСТ 31859-2012 [1]. Метод основан на измерении оптической плотности раствора при длине волны 600 нм с использованием градуировочной зависимости оптической плотности раствора от значения ХПК.

Аминный азот определяли по ГОСТ 33045-2014 [2]. Метод основан на способности аммиака и ионов аммония взаимодействовать с реактивом Несслера с образованием окрашенного в желто-коричневый цвет соединения с последующим фотометрическим определением (400-425 нм) и расчетом массовой концентрации определяемых компонентов в пробе исследуемой воды.

Нитриты определяли по ГОСТ 33045-2014 [2]. Сущность метода заключается во взаимодействии нитритов в исследуемой пробе воды с сульфаниловой кислотой в присутствии 1-нафтил-аминна с образованием красно-фиолетового окрашенного соединения с последующим фотометриче-

ским определением (520 нм) и расчетом массовой концентрации нитритов в пробе исследуемой воды. Нитраты определяли по ГОСТ 33045-2014 [2]. Определение основано на реакции нитратов с салицилатом натрия в концентрированной трихлоруксусной кислоте с последующим добавлением раствора гидроксида натрия и образованием натриевой соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет ( $\lambda_{\max}$  410 нм). Фосфаты определяли по ГОСТ 18309-2014 [3]. Сущность метода состоит в переводе в ортофосфат большинства соединений органически связанного фосфора путем персульфатного окисления.

Определение нитчатых микроорганизмов проводили по методике, указанной в ПНД Ф СБ14.1.92-96 «Методическое руководство по гидробиологическому контролю нитчатых микроорганизмов активного ила» [10].

Для проведения гидробиологического анализа активного ила готовили препараты методом раздавленной капли, а также фиксированные окрашенные препараты. Состав бактериоценоза активного ила определяли стандартными методами посева в жидкие и плотные питательные среды [11-13].

Идентификацию микробиома кишечника животных (свиней) проводили по ГОСТ 10444.11-89, ГОСТ Р 56139-2014, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003), ГОСТ 28566-90 (СТ СЭВ 6646-89), ГОСТ 10444.12-2013.

Ферментацию загрязнителей органического происхождения проводили при температуре  $40 \pm 2$  °С микробиомом кишечника свиней в концентрации 5 % к массе исходного сырья в течение 72 часов.

### Результаты и обсуждение

Проведенные исследования состояния активного ила позволили выявить ряд особенностей (табл. 1). В видовом составе консорциума микроорганизмов активного ила на долю нитчатых бактерий приходится более 30 %. Это свидетельствует о тенденции активного ила к ухудшению очищающей способности.

Исследуемые сточные воды можно охарактеризовать как сильнозагрязненные (табл. 2). В процессе биологической очистки аммонийный азот снизился на 20,9 %. Следует отметить, что на мо-

мент проведения анализа степень нитрификации была невысокой. Содержание нитритов уменьшилось на 32,7 %, а нитратов – возросла на 51,7 %. В целом работу микроорганизмов, способных окислять аммоний, можно охарактеризовать как низкоэффективную. Увеличение фосфатов в очищенном стоке почти в 2 раза свидетельствует о недостаточной активности бактерий активного ила, способных усваивать фосфор. Избыточное содержание фосфатов в очищенной воде может привести к серьезным экологическим проблемам в водоемах [4].

Для улучшения условий работы флокулообразующих бактерий предварительно была проведена ферментация отходов животного происхождения

микробиомом кишечника свиней. Это позволило снизить общий уровень загрязнения исходных стоков по ХПК на 59,8 %, а после очистки – на 78,2 % (табл. 2). Также было отмечено снижение содержания аммонийного азота в исходном стоке в 3,9 раза, в 4,8 раза возрастает доля нитратного азота. Снижение аммонийного азота после очистки стока свидетельствует о глубокой минерализации основной части органических веществ и подтверждается появлением в стоке бактерий-нитрификаторов (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав микроорганизмов активного ила

До очистки	До очистки с предварительной ферментацией органических отходов микробиомом кишечника свиней
<p><i>Alcaligenes,</i> <i>Achromobacter,</i> <i>Arthrobacter,</i> <i>Bacillus,</i> <i>Bacterium</i> <i>Brevibacterium,</i> <i>Bdellovibrio,</i> <b><i>Beggiatoa,</i></b> <i>Caulobacter,</i> <i>Flavobacterium,</i> <i>Hyphomicrobium,</i> <i>Nocardia,</i> <i>Pseudomonas,</i> <i>Sphaerotilus,</i> <b><i>Thiothrix,</i></b> <i>Zoogloea</i></p>	<p><b><i>Actinomyces,</i></b> <b><i>Aeromonas,</i></b> <i>Alcaligenes,</i> <i>Achromobacter,</i> <i>Arthrobacter,</i> <i>Bacillus,</i> <i>Bacterium,</i> <i>Brevibacterium,</i> <i>Bdellovibrio,</i> <i>Caulobacter,</i> <b><i>Corynebacterium,</i></b> <i>Flavobacterium,</i> <i>Hyphomicrobium,</i> <b><i>Micrococcus,</i></b> <b><i>Mycobacterium,</i></b> <b><i>Nitrosomonas,</i></b> <b><i>Nitrobacter,</i></b> <i>Nocardia,</i> <i>Pseudomonas,</i> <i>Sphaerotilus,</i> <i>Zoogloea</i></p>

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Структура бактериологического сообщества активного ила изменилась в сторону увеличения флокулирующих микроорганизмов. Их доля в консорциуме увеличилась на 41,7 %.

Следует отметить, что снижение исходной концентрации загрязнителей в стоке привело к активизации микроорганизмов, усваивающих фосфор. Его концентрация после очистки снизилась до нормативных значений (табл. 2). В то время как в исходном стоке после биотрансформации загрязняющих веществ наблюдалось увеличение концентрации ортофосфатов в 2 раза.

Уменьшение количества загрязнений в сточной воде привело к развитию в биоценозе активного ила избирательного лизиса. В условиях старвации (голодания) усилилась борьба за источники питания между микроорганизмами, активизировались процессы их селекции. Это привело к формированию консорциума микроорганизмов с преобладанием флокулирующих бактерий и активному ингибированию деятельности нитчатых микроорганизмов (табл. 1). Из биоценоза исчезли нитчатые бактерии *Beggiatoa*, *Thiothrix*.

Таблица 2

Физико-химические показатели сточной воды

Сточная вода	ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	Аммоний, мг/дм <sup>3</sup>	Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>
До очистки	703,40 ± 12,2	70,80 ± 2,5	0,52 ± 0,1	4,45 ± 0,73	43,80 ± 2,5
После очистки	75,80 ± 3,5	56,00 ± 3,4	0,35 ± 0,1	6,75 ± 0,5	86,90 ± 4,2
До очистки с предварительной ферментацией органических отходов микробиомом кишечника свиней	282,50 ± 6,3	18,08 ± 3,1	0,41 ± 0,1	21,30 ± 3,5	6,30 ± 1,5
После очистки с предварительной ферментацией органических отходов микробиомом кишечника свиней	16,50 ± 2,7	0,12 ± 0,3	0,03 ± 0,02	0,10 ± 0,06	1,80 ± 0,5
СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы" (22.06.2000) (с изм. от 04.02.2011, с изм. от 25.09.2014)	30	1,5	3,3	45	2

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Полученные экспериментальные данные подтвердили исследования М. Zhang с соавторами [28]: снижение концентрации загрязняющих веществ может рассматриваться как одно из условий, позволяющих контролировать популяцию нитчатых микроорганизмов.

### Заключение

Проведенные исследования позволили выявить факторы, влияющие на изменение состояния активного ила. Отмечена корреляционная зависи-

мость между снижением концентрации загрязняющих веществ и регенерацией биоценоза активного ила. При снижении загрязнений в исходной сточной воде по ХПК на 59,8 % микробиом активного ила претерпевает значительные изменения: увеличивается доля флокулирующих бактерий на 41,7 %, исчезли бактерии родов *Beggiatoa*, *Thiothrix*.

### Библиографический список

1. ГОСТ 31859-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. Water. Method for determination of chemical oxygen demand MKC 13.060.50 : издание официальное : дата введения 2014.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-31859-2012> (дата обращения: 18.06.2020).
2. ГОСТ 33045-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters. MKC 13.060.50.: издание официальное: дата введения 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (дата обращения: 18.06.2020).
3. ГОСТ 18309-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. Water. Methods for determination of phosphorus-containing matters. MKC 13.060.50 : издание официальное: дата введения 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115799> (дата обращения: 18.06.2020).
4. Дубовик, О. С. Совершенствование биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод / О. С. Дубовик, Р. М. Маркевич // Труды БГТУ. – 2016. – № 4. – С. 232–238. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-biotekhnologiy-udaleniya-azota-i-fosfora-iz-gorodskih-stochnyh-vod/viewer> (дата обращения: 18.06.2020).
5. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – Москва : АКВАРОС, 2003 (ФГУ ИПП Кострома). – 507 с. – Библиогр.: с. 467–476. – ISBN 5-901652-05-3.
6. Зайцева, И. С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках / И. С. Зайцева, Н. А. Зайцева, А. С. Воронина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 90–91. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_13757508\\_87508218.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13757508_87508218.pdf) (дата обращения: 18.06.2020).
7. Захватаева, Н. В. Активный ил как управляемая экологическая система / Н. В. Захватаева, А. С. Шеломков ; под ред. д.т.н., проф. Пупырева Е.И. – Москва : Экспо-Медиа-Пресс, 2013. – 285 с. – Библиогр.: с. 283–284. – ISBN 978-5-905701-05-04.
8. Ильинский, В. В. Оценка функциональной активности активного ила локально-очистного сооружения, действующего в условиях Арктического региона / В. В. Ильинский, Е. В. Крамаренко, Е. В. Макаревич // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. – № 1/2. – С. 157–164. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-funktsionalnoy-aktivnosti-aktivnogo-ila-lokalno-ochistnogo-sooruzheniya-deystvuyuschego-v-usloviyah-arkticheskogo-regiona> (дата обращения: 20.06.2020).
9. Оценка влияния условий культивирования на способность микроорганизмов сточных вод к флокуляции / В. В. Ильинский, Е. В. Макаревич, Е. В. Крамаренко, В. В. Индушко // Вестник МГТУ. – 2017. –

Т. 20. – № 2. – С. 301–307. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-usloviy-kultivirovaniya-na-sposobnost-mikroorganizmov-stochnyh-vod-k-flokulyatsii> (дата обращения: 20.06.2020).

10. Методы санитарно-биологического контроля. Методическое руководство по гидробиологическому контролю нитчатых микроорганизмов активного ила. ПНД Ф СБ 14.1.92-96. – URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/397585/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/397585/) (дата обращения: 19.06.2020).

11. Практикум по микробиологии / А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Л. М. Захарчук [и др.] ; под ред. А. И. Нетрусова. – Москва : Академия, 2005. – 608 с. – Библиогр.: с. 594–599. – ISBN 5-7695-1809. – URL: [https://www.studmed.ru/view/netrusov-ai-egorova-ma-zaharchuk-lm-praktikum-po-mikrobiologii\\_9900f7e5a32.html](https://www.studmed.ru/view/netrusov-ai-egorova-ma-zaharchuk-lm-praktikum-po-mikrobiologii_9900f7e5a32.html) (дата обращения: 19.06.2020).

12. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1997. – Т. 1. – 432 с. – Библиогр.: с. 429–431. – ISBN 5-03-003111.

13. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1997. – Т. 2. – 368 с. – Библиогр.: с. 365–367. – ISBN: 5-03-003112. – URL: [https://www.studmed.ru/view/hoult-dzh-krig-n-opredelitel-bakteriy-berdzh-v-2-h-t-tom-2\\_f655ba7fd9d.html](https://www.studmed.ru/view/hoult-dzh-krig-n-opredelitel-bakteriy-berdzh-v-2-h-t-tom-2_f655ba7fd9d.html) (дата обращения: 19.06.2020).

14. Усачева, К. В. Устранение нитчатого вспухания активного ила в условиях эксперимента / К. В. Усачева, Ю. К. Верес. – Минск : Изд. центр БГУ, 2012. – С. 65–69. – URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/49849> (дата обращения: 19.06.2020).

15. Шевченко, Т. А. Анализ причин нитчатого вспухания активного ила и меры борьбы с ним / Т. А. Шевченко, И. О. Иваненко // Комунальне господарство міст. – 2014. – № 14. – С. 67–70. – URL: [https://eprints.kname.edu.ua/36622/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20\\_2014\\_%D0%A5%D0%9D%D0%A3%D0%93%D0%A5\\_%D1%80%D0%B5%D0%B41.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/36622/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20_2014_%D0%A5%D0%9D%D0%A3%D0%93%D0%A5_%D1%80%D0%B5%D0%B41.pdf) (дата обращения: 19.06.2020).

16. Нитчатое вспухание активного ила и эффект удаления питательных веществ // А. И. Щетинин, В. А. Юрченко, А. Н. Михнев [и др.] // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2009. – № 3. – С. 28–31. – Библиогр.: с. 31 (9 назв.). – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12518121\\_98509652.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12518121_98509652.pdf) (дата обращения: 19.06.2020).

17. Adonadaga, M.-G. Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Morphology and Settability of Activated Sludge Flocs / M.-G. Adonadaga // Journal of Applied & Environmental Microbiology. – 2015. – V. 3 (2). – P. 31–37. – DOI: <https://doi.org/110.12691/jaem-3-2-1http://pubs.sciepub.com/jaem/3/2/1/index.html>.

18. Study of 16 Portuguese activated sludge systems based on filamentous bacteria populations and their relationships with environmental parameters / L. Araújo dos Santos, V. Ferreira, M. M. Neto [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. – 2015. – V. 99. – P. 5307–5316. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6393-8>.

19. Eikelboom, D. H. Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation / D. H. Eikelboom. – London: IWA Publishing, 2000. – 163 p. – Corpus ID: 90987765. – ISBN-13: 978-1780406831, ISBN-10: 1780406835.

20. Filamentous bulking caused by *Thiothrix* species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy / O. Henriot, C. Meunier, P. Henry, J. Mahillon // Sci Rep. – 2017. – V. 7. – P. 1430. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01481-1>.

21. Kravchenko, A. V. A technique for normalizing the operation of biological wastewater treatment plants during the bulking of activated sludge / A. V. Kravchenko, V. S. Zalevskii // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2009. – V. 31. – P. 334. – DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050105>.

22. Majone, M. Aerobic storage under dynamic conditions in activated sludge processes. The state of the art / M. Majone, K. Dircks, J. J. Beun // Water Science and Technology. – 1999. – V. 39 (1). – P. 61–73. – DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0014>.

23. Filamentous bulking sludge – a critical review / A. M. P. Martins, K. Pagilla, J.J. Heijnen [et al.] // *Wat. Res.* – 2004. – V. 38. – № 4. – P. 793–817. – DOI: 10.1016/j.watres.2003.11.005.
24. Miłobędzka, A. Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal / A. Miłobędzka, A. Witeska, A. Muszyński // *Water Sci Technol.* – 2016. – V. 73 (4). – P. 790–797. – DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>.
25. Nemeth-Katona, J. The Environmental Significance of Bioindicators in Sewage Treatment / J. Nemeth-Katona // *Acta Polytechnica Hungarica.* – 2008. – Vol. 5 (3). – P. 117–124. – DOI: 10.2478/v10147-011-0026-8.
26. Wanner, J. Activated Sludge Bulking and Foaming Control / J. Wanner. – Technomic Publishing Co., Inc., USA, 1994. – 327 p. – DOI: 10.1201/9781498710817.
27. Williams, T. M. Isolation and characterization of filamentous bacteria present in bulking activated sludge / T. M. Williams, R. F. Unz // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 1985. – V. 22. – P. 273–282. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00252030>.
28. The microbial community in filamentous bulking sludge with the ultra-low sludge loading and long sludge retention time in oxidation ditch / M. Zhang, Y. Junqin, W. Xiyuan [et al.] // *Scientific RepoRts.* – 2019. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50086-3>.

### References

1. GOST 31859-2012. *Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Metod opredeleniya himicheskogo potrebleniya kisloroda.* Water. Method for determination of chemical oxygen demand MKS 13.060.50: *izdanie oficial'noe: data vvedeniya* 2014.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-31859-2012> (date of access: 18.06.2020).
2. GOST 33045-2014. *Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Metody opredeleniya azotsoderzhashchikh veshchestv.* Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters. MKS 13.060.50: *izdanie oficial'noe: data vvedeniya* 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (date of access: 18.06.2020).
3. GOST 18309-2014. *Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Metody opredeleniya fosforsoderzhashchikh veshchestv.* Water. Methods for determination of phosphorus-containing matters. MKS 13.060.50: *izdanie oficial'noe: data vvedeniya* 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115799> (date of access: 18.06.2020).
4. Dubovik O.S., Markevich R.M. (2016) *Sovershenstvovanie biotekhnologij udaleniya azota I fosfora iz gorodskikh stochnykh vod. Trudy BGTU, № 4, pp. 232-238* (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-biotekhnologiy-udaleniya-azota-i-fosfora-iz-gorodskih-stochnykh-vod/viewer> (date of access 18.06.2020).
5. Zhmur N.S. *Tekhnologicheskie i biohimicheskie process ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami.* Moscow: AKVAROS, 2003 (FGU IPP Kostroma). 507 p. ISBN 5-901652-05-3 (in Russian).
6. Zajceva I.S., Voronina A.S. (2010) *Metody intensivifikacii biologicheskoy ochistki stochnykh vod v aerotenkakh. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, № 2, pp. 90-91* (in Russian). URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_13757508\\_87508218.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13757508_87508218.pdf) (date of access 18.06.2020).
7. Zahvataeva N.V., Shelomkov A.S. *Aktivnyj il kak upravlyaemaya ekologicheskaya sistema* / ed. by prof. E.I. Pupyrev. Moscow: Ekspo-Media-Press, 2013, 285 p. ISBN 978-5-905701-05-04 (in Russian).
8. Il'inskij V.V., Kramarenko E.V., Makarevich E.V. (2017) *Ocenka funkcional'noj aktivnosti aktivnogo ila lokal'no-ochistnogo sooruzheniya, dejstvuyushchego v usloviyakh Arkticheskogo regiona. Vestnik MGTU. Vol. 20, № ½, pp. 157-164* (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-funktsionalnoy-aktivnosti-aktivnogo-ila-lokalno-ochistnogo-sooruzheniya-deystvuyushchego-v-usloviyah-arkticheskogo-regiona> (date of access 20.06.2020).
9. Il'inskij V.V., Makarevich E.V., Kramarenko E.V., Indushko V.V. (2017) *Ocenka vliyaniya uslovij kul'tivirovaniya na sposobnost' mikroorganizmov stochnykh vod k flokulyacii. Vestnik MGTU. Vol. 20, № 2,*

pp. 301-307 (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-usloviy-kultivirovaniya-na-sposobnost-mikroorganizmov-stochnyh-vod-k-flokulyatsii> (date of access 20.06.2020).

10. *Metody sanitarno-biologicheskogo kontrolya. Metodicheskoe rukovodstvo po gidrobiologicheskomu kontrolyu nitchatnykh mikroorganizmov aktivnogo ila*. PND F SB 14.1.92-96. URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/397585/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/397585/) (date of access 19.06.2020) (in Russian).

11. Netrusov A.I., Egorova M.A., Zaharchuk L.M. (et al.) *Praktikum po mikrobiologii*. Moscow: Akademiya, 2005, 608 p. (in Russian). ISBN 5-7695-1809. URL: [https://www.studmed.ru/view/netrusov-ai-egorova-ma-zaharchuk-lm-praktikum-po-mikrobiologii\\_9900f7e5a32.html](https://www.studmed.ru/view/netrusov-ai-egorova-ma-zaharchuk-lm-praktikum-po-mikrobiologii_9900f7e5a32.html) (date of access 19.06.2020).

12. *Opredelitel' bakterij Berdzhi*. / ed. by Dzh. Hoult, N. Krig, P. Snit, Dzh. Stejli, S. Uill'yams. Moscow: Mir, 1997. Vol. 1. 432 p. ISBN 5-03-003111 (in Russian).

13. *Opredelitel' bakterij Berdzhi*. / ed. by Dzh. Hoult, N. Krig, P. Snit, Dzh. Stejli, S. Uill'yams. Moscow: Mir, 1997. Vol. 2. 368 p. ISBN: 5-03-003112 (in Russian). URL: [https://www.studmed.ru/view/hoult-dzh-krig-n-opredelitel-bakteriy-berdzhi-v-2-h-t-tom-2\\_f655ba7fd9d.html](https://www.studmed.ru/view/hoult-dzh-krig-n-opredelitel-bakteriy-berdzhi-v-2-h-t-tom-2_f655ba7fd9d.html) (date of access 19.06.2020).

14. Usacheva K.V., Veres Yu.K. *Ustranenie nitchatogo vspuhaniya aktivnogo ila v usloviyakh eksperimenta*. Minsk: Izd. centr BGU, 2012, pp. 65-69 (in Russian). URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/49849> (date of access 19.06.2020).

15. Shevchenko T.A., Ivanenko I.O. (2014) *Analiz prichin nitchatogo vspuhaniya aktivnogo ila i mery bor'by s nim. Komunal'ne gospodarstvo mist*, № 14, pp. 67-70 (in Russian). URL: [https://eprints.kname.edu.ua/36622/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20\\_2014\\_%D0%A5%D0%9D%D0%A3%D0%93%D0%A5\\_%D1%80%D0%B5%D0%B41.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/36622/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20_2014_%D0%A5%D0%9D%D0%A3%D0%93%D0%A5_%D1%80%D0%B5%D0%B41.pdf) (date of access 19.06.2020).

16. Shchetinin A.I., Yurchenko V.A., Mihnev A.N. (et al.) (2009) *Nitchatoe vspuhanie aktivnogo ila i effect udaleniya pitatel'nykh veshchestv. Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie*, № 3, pp. 28-31. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12518121\\_98509652.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12518121_98509652.pdf) (date of access 19.06.2020).

17. Adonadaga M.-G. (2015) Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Morphology and Settleability of Activated Sludge Floes. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, Vol. 3 (2), pp. 31-37. DOI: <https://doi.org/10.12691/jaem-3-2-1http://pubs.sciepub.com/jaem/3/2/1/index.html>.

18. Araújo dos Santos L., Ferreira V., Neto M.M. (2015) Study of 16 Portuguese activated sludge systems based on filamentous bacteria populations and their relationships with environmental parameters. *Appl Microbiol Biotechnol*. Vol. 99, pp. 5307-5316. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6393-8>.

19. Eikelboom D.H. *Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation*. London: IWA Publishing, 2000. 163 p. Corpus ID: 90987765. ISBN-13: 978-1780406831, ISBN-10: 1780406835.

20. Henriot O, Meunier C., Henry P., Mahillon J. (2017) Filamentous bulking caused by *Thiothrix* species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy. *Sci Rep*. Vol. 7, p. 1430. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01481-1>.

21. Kravchenko A.V., Zalevskii V.S. (2009) A technique for normalizing the operation of biological wastewater treatment plants during the bulking of activated sludge. *Journal of Water Chemistry and Technology*. Vol. 31, p. 334. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050105>.

22. Majone M., Dircks K., Beun J.J. (1999) Aerobic storage under dynamic conditions in activated sludge processes. The state of the art. *Water Science and Technology*. Vol. 39 (1), pp. 61-73. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0014>.

23. Martins A.M.P., Pagilla K., Heijnen J.J. (et al.) (2004) Filamentous bulking sludge – a critical review. *Wat. Res*. Vol. 38, № 4, pp. 793-817. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.005>.

24. Miłobędzka A., Witeska A., Muszyński A. (2016) Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal. *Water Sci Technol*. Vol. 73 (4), pp. 790-797. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>.

25. Nemeth-Katona J. (2008) The Environmental Significance of Bioindicators in Sewage Treatment. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 5 (3), pp. 117-124. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10147-011-0026-8>.
26. Wanner J. Activated Sludge Bulking and Foaming Control. Technomic Publishing Co., Inc., USA, 1994, 327 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781498710817>.
27. Williams T.M., Unz R.F. (1985) Isolation and characterization of filamentous bacteria present in bulking activated sludge. *Appl Microbiol Biotechnol.* Vol. 22, pp. 273-282. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00252030>.
28. Zhang M., Junqin Y., Xiyuan W. (et al.) (2019) The microbial community in filamentous bulking sludge with the ultra-low sludge loading and long sludge retention time in oxidation ditch. *Scientific Reports*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50086-3>.

### Сведения об авторах

*Брындина Лариса Васильевна* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и правовых отношений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [bryndinv@mail.ru](mailto:bryndinv@mail.ru).

*Корчагина Анна Юрьевна* – аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [nuta10011@yandex.ru](mailto:nuta10011@yandex.ru).

### Information about authors

*Bryndina Larisa Vasilyevna* – DSc (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety and Legal Relations, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: [bryndinv@mail.ru](mailto:bryndinv@mail.ru).

*Korchagina Anna Yuryevna* – post-graduate student, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: [nuta10011@yandex.ru](mailto:nuta10011@yandex.ru).