

Интенсификация процессов очистки воды с использованием биофлокулянта

Б.С. Ксенофонов, Е.Е. Гончаренко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: eeg84@mail.ru

Рассмотрены возможности использования биомассы микроорганизмов активного ила в качестве флокулянта для интенсификации очистки поверхностных сточных вод. Приведены данные об эффективности отделения взвешенных веществ от жидкой фазы с помощью микроорганизмов активного ила. Показано, что избыточный активный ил можно непосредственно применять в биологических очистных сооружениях, предварительно сгущая его напорной флотацией с предварительным подкислением.

Ключевые слова: *поверхностные сточные воды, флотация, биофлокулянт, активный ил, сгущение, флотационная колонна.*

Intensification of Purification of Surface Sewage by use a Biofloculant

B.S. Ksenofontov, E.E. Goncharenko

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: eeg84@mail.ru

In work possibilities of use of biomass of mikroorganizm of active silt as a flocculant for an intensification of purification of surface sewage are considered. Data on efficiency of separation of the weighed substances from a liquid phase with use as flocculant of microorganisms of active silt are provided. It is shown that excess active silt can be given directly from biological treatment facilities, previously condensing with use of pressure head flotation with preliminary acidulation.

Keywords: *surface sewage, flotation, biofloculant, active silt, condensation, floatation column.*

В настоящее время одной из задач экологии является интенсификация процессов очистки сточных вод и утилизация активного ила, образующегося при биологической очистке воды. В России сооружения биологической очистки составляют 54,8 % от числа очистных сооружений, а водоотведение на них — 78,9 % от общего объема очищаемых вод. Это позволяет определить решающую роль биологической очистки сточных вод. В биологической очистке воды широко используют активный ил, состоящий из живых организмов и твердого субстрата. Активный ил также включает в себя скопления бактерий, дрожжи, простейшие, плесневелые грибы, актиномицеты, рачки, водоросли и др., т. е. несколько видов микроорганизмов и простейших [1].

Под действием микроорганизмов происходит биохимическое окисление органических примесей, содержащихся в воде, с превращением находящихся в ней ароматических и алифатических углеводов в безвредные диоксид углерода, воду, нитрит и сульфат ионы и др. Активный ил можно рассматривать как коллоидную систему, которая при $pH = 4...9$ имеет отрицательный заряд [2]. Субстрат активного ила представляет собой отмершую часть водорослей и различных твердых остатков, к которым прикрепляются микроорганизмы.

Главный недостаток биологической очистки — образование большого количества избыточного активного ила в результате трансформации части исходных загрязнений в активную биомассу. Ежегодно на очистных сооружениях накапливаются миллионы тонн биомассы избыточного активного ила, переработка и утилизация которой является более трудоемкой, чем процесс очистки. Поэтому любые практические решения этой проблемы, позволяющие хотя бы частично утилизировать избыточный активный ил, оказываются экономически оправданными [3]. В связи с этим настоящая работа актуальна.

Химический состав биомассы избыточного активного ила отличается высоким содержанием белка, углеводов, витаминов, липидов и наличием аминокислот [1, 3–7]. Такой состав позволяет рассматривать избыточный активный ил в качестве перспективного сырья для получения кормовых добавок и удобрений. Однако наличие патогенных микроорганизмов, несбалансированный химический состав, присутствие тяжелых металлов препятствует его переработке в кормовые продукты и удобрения [3–7].

Более перспективным на взгляд авторов настоящей статьи является использование микроорганизмов избыточного активного ила как флокулянта. Флокулянты объединяют частицы загрязнений во флокулы-агрегаты частиц, размеры которых в несколько раз превышают размеры частиц дисперсной фазы. Это приводит к резкому увеличению скорости осаждения [9, 10]. Биофлокулянты все более широко применяют в различных отраслях промышленности для очистки сточных вод [4–7]. Поэтому исследования использования микроорганизмов избыточного активного ила в качестве биофлокулянта представляют особый интерес как один из перспективных вариантов утилизации ила. Высокая эффективность применения микроорганизмов избыточного активного ила для очистки сточных вод с фосфорсодержащими загрязнениями, находящимися в тонкодисперсном состоянии, показана в работах [1–5, 14–16].

В настоящей работе проведены исследования влияния микроорганизмов избыточного активного ила на интенсификацию процесса очистки поверхностных сточных вод, включая очистку от металлов, содержащихся в дисперсионной среде, в частности алюминия. Организация такой работы актуальна и особенно важна для условий подтопления и затопления селитебных территорий, т. е. территорий, на которых расположены жилые здания, а также площадок предприятий.

В этих случаях необходимо в интенсивном режиме проводить отвод воды и ее очистку.

Методика исследований заключалась в наблюдении за скоростью осаждения твердой фазы осветляемых сточных вод в цилиндрах объемом 0,5 л, в определении мутности слива после осаждения твердой фазы (рис. 1), а также концентрации взвешенных веществ и алюминия по

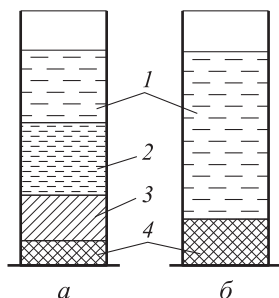


Рис. 1. Схемы, иллюстрирующие зоны осветления сточных вод без добавления активного ила (а) и с добавлением активного ила (б): 1 — осветленная жидкость; 2, 3 — жидкость с повышенным содержанием взвешенных веществ; 4 — осадок

стандартным методикам [16]. Исследования проводились при комнатной температуре, пробы для анализа отбирались из зон 1 и 2, микроорганизмы активного ила вводились в сгущаемую суспензию концентрацией 8,5 г/л. Результаты экспериментальных исследований влияния микроорганизмов активного ила на скорость осаждения твердой фазы в осветляемых сточных водах представлены в таблице.

Влияние концентрации микроорганизмов активного ила на скорость осаждения твердой фазы осветляемых сточных вод и на содержание алюминия в осветленной жидкости

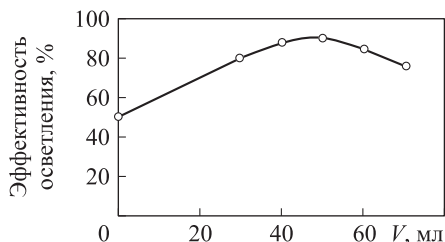
Расход микроорганизмов активного ила (сток), г/л	Скорость осаждения твердой фазы, м/ч	Содержание, мг/л		
		взвешенных веществ в осветленной жидкости	взвешенных веществ в жидкой фазе	алюминия
0	2,2	33,7	32,1	2,70
0,25	3,1	12,3	13,5	0,98
0,50	3,9	10,5	10,2	0,45
0,75	4,1	8,2	8,8	0,35
1,00	4,1	8,1	8,1	0,33
1,50	—	—	7,9	0,31

Полученные данные (см. таблицу) показывают, что скорость осаждения возрастает по мере увеличения содержания микроорганизмов в суспензии, а также повышается степень осветления очищаемой воды вследствие уменьшения содержания взвешенных частиц. Одновременно с очисткой стоков происходит удаление алюминия. Полученный важный результат показывает, что в перспективе можно использовать избыточный активный ил для удаления металлов, например, из подземных вод,

в которых металлы (натрий, марганец, магний, серебро, литий, золото, уран, радий и др.)¹ находятся в виде дисперсных систем.

В работе также исследовано применение избыточного активного ила в виде суспензии с концентрацией 42,7 г/л для очистки производственных сточных вод после мытья автомобилей. Результаты исследований (рис. 2) свидетельствуют о достаточно высокой эффективности очистки производственных сточных вод после мытья автомобилей.

Рис. 2. Зависимость эффективности осветления сточных вод после мытья автомобилей от объема добавленного активного ила



Оценивая возможности использования микроорганизмов избыточного активного ила в качестве биофлокулянта, следует отметить, что финансовые затраты связаны только с его транспортировкой, для которой необходимо предварительное уплотнение активного ила.

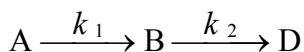
Один из наиболее простых и эффективных способов уплотнения активного ила перед его применением — напорная флотация [19, 20]. В связи с этим был разработан аппарат колонного типа, выполненный в виде цилиндрического корпуса 2, на внешней поверхности которого расположены входные (поз. 1, 3) и выходные (поз. 6–8) патрубки, а внутри — устройство аэрации 4 с трубчатыми аэраторами 5 (рис. 3).

Флотационную очистку применяют для удаления из вод ПАВ, нефтепродуктов, жиров, смол и др. [13, 14]. Процесс заключается в сорбировании содержащихся в воде примесей пузырьками воздуха, нагнетаемого в очищаемую жидкость образовавшегося пенного слоя, с поверхности обрабатываемой жидкости. Таким образом, процесс очистки сточных вод заключается в образовании комплексов частицы загрязнений — пузырьки, их всплывании и удалении образовавшегося пенного слоя с поверхности обрабатываемой жидкости.

Прилипание частицы к поверхности газового пузырька происходит тогда, когда поверхность частицы не смачивается или плохо смачивается жидкостью. Степень смачивания характеризуется краевым углом смачивания, при увеличении которого поверхность частицы становится более гидрофобной, увеличивается вероятность ее прилипания и прочность удержания на поверхности воздушных пузырьков.

Флотационный процесс в колонне можно представить в виде последовательной мономолекулярной реакции

¹ Согласно данным средств массовых информаций, стоимость перечисленных металлов составляет 257 долл. за тонну.



Вещество В — промежуточное соединение (флотокомплекс частица — пузырек). Обозначим текущие концентрации реагентов А, В и D через C_A , C_B , C_D . Согласно принципу независимости, скорость реакции реагента В равна $r_B = r_A - r_D$. Система дифференциальных уравнений, описывающих изменение концентраций веществ, имеет вид [19]

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A; \quad \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B; \quad \frac{dC_D}{dt} = k_2 C_B. \quad (1)$$

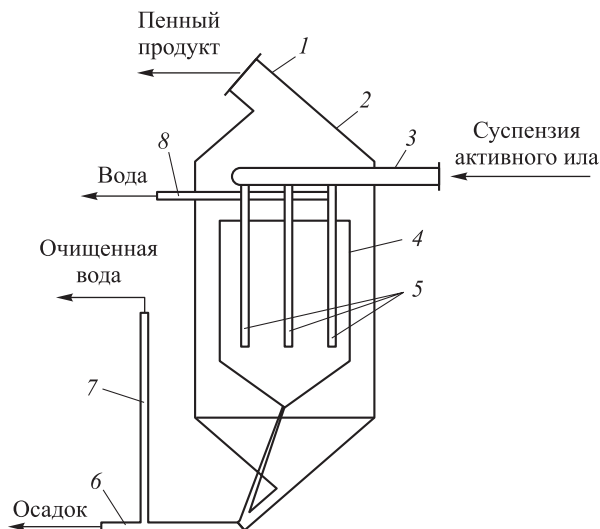


Рис. 3. Схема аппарата колонного типа для сгущения активного ила напорной флотацией:

1, 3 — входные патрубки; 2 — корпус флотационной колонны; 4 — устройство для аэрации; 5 — трубчатые аэраторы; 6–8 — выходные патрубки

Измеряемые на практике концентрации частиц загрязнений в жидкости А и в пенном слое D можно найти при решении системы уравнений (1):

$$C_A = C_{A0} e^{-k_1 t}; \quad C_B = \frac{k_1 C_{A0}}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}); \quad C_D = C_{A0} - C_A - C_B,$$

где C_{A0} — начальная концентрация вещества А; k_1 , k_2 — константы скоростей первой и второй стадий процесса.

При анализе кинетики последовательного процесса можно использовать аналогичный процесс протекания жидкости через систему трубопроводов различного сечения. Трубопровод с минимальной площадью сечения имеет высокое гидравлическое сопротивление. Его про-

пуская способность определяет производительность системы в целом. Аналог гидравлического сопротивления — величина $1/k$, которую можно назвать кинетическим сопротивлением.

В случае напорной флотации активного ила лимитирующей стадией является последняя стадия процесса с константой скорости k_2 , которая равна отношению скорости подъема флотокомплексов к рабочей высоте флотокамеры. В связи с этим высота камеры для таких условий выбирается минимальной и не превышает 1 м.

Одним из наиболее эффективных способов интенсификации процесса уплотнения активного ила является его подкисление [13–18]. Проведенное исследование механизма напорной флотации активного ила с его предварительным подкислением показало следующее: при снижении кислотности до $\text{pH} = 1,5 \dots 2,0$ резко уменьшается растворимость углекислого газа, который выделяется из жидкой фазы, в том числе и из хлопьев активного ила. Поэтому последующая напорная флотация приводит к образованию плотного пенного слоя с концентрацией активного ила в 1,5–2 раза, превышающей его концентрацию без предварительного подкисления.

Экспериментальные данные показывают, что предварительное подкисление активного ила до $\text{pH} = 1,5 \dots 2,0$ не только резко улучшает его флотационное сгущение, но и сорбционные характеристики микроорганизмов активного ила, что приводит к заметному снижению концентрации взвешенных веществ в осветленной жидкости.

Влияние кислотности pH среды на флотационное уплотнение активного ила и его эффективность при использовании в качестве флокулянта для осветления поверхностных сточных вод $C_0 = 43,3$ мг/л

pH	7,2	4,5	3,1	2,3	1,0
C_1 , г/л	0	39,7	48,2	51,5	50,2
C_2 , г/л	0	1,5	1,5	1,5	1,5
C_3 , мг/л	24,3	12,6	9,2	7,5	5,1

Примечание. C_0 — концентрация взвешенных частиц в исходной суспензии; C_1 — концентрация активного ила в пенном слое, образующемся в результате напорной флотации в течение 1 ч; C_2 — концентрация активного ила в иловой смеси; C_3 — концентрация взвешенных частиц в жидкой фазе после осветления и отстаивания в течение 30 мин.

Выводы. Проведены исследования по влиянию микроорганизмов активного ила на интенсификацию процесса очистки производственных поверхностных сточных вод. При увеличении концентрации микроорганизмов в суспензии активного ила возрастает скорость осаждения твердой фазы и степень осветления сточных вод.

Эксперименты по удалению частиц алюминия, содержащихся в производственных сточных водах, показали эффективность использо-

вания микроорганизмов избыточного активного ила для удаления металлов, содержащихся в сточных водах во взвешенном состоянии.

Проведены исследования использования избыточного активного ила при очистке производственных сточных вод после мытья автомобилей. Установлено, что при добавлении избыточного активного ила концентрацией 42,7 г/л эффективность осветления возрастает с увеличением объема добавленного ила и достигает максимума при его объеме 40 мл.

В связи с тем, что для транспортировки избыточного активного ила необходимо его уплотнение, разработан аппарат колонного типа для уплотнения активного ила напорной флотацией.

Исследовано влияние кислотности среды на эффективность осветления сточных вод и флотационное уплотнение активного ила. Показано, что предварительное подкисление до $\text{pH} = 1,5 \dots 2,0$ не только резко улучшает флотационное сгущение активного ила, но и заметно снижает концентрацию загрязнений. Таким образом, результаты работы показали возможность частичной утилизации избыточного активного ила, образующегося при биологической очистке сточных вод, за счет его применения в качестве биофлокулянта для интенсификации процессов очистки, а также для удаления металлов, содержащихся в производственных сточных водах в дисперсном состоянии. Экономические затраты при утилизации избыточного активного ила связаны только с его транспортировкой.

Авторы настоящей работы надеются, что полученные результаты использования избыточного активного ила в качестве биофлокулянта помогут хотя бы частично решить проблему его утилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хенце М., Армозс П., Ля-Кур-Янсен И., Арван Э.* Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / пер. с англ. М.: Мир, 2005. 480 с.
2. *Никитина О.Г.* Современная концепция биологической очистки сточных вод: новый взгляд // *Вода: химия и экология.* 2009. № 11. С. 9–20. URL: <http://watchemec.ru/article/12892>
3. *Шарафуллин В.Н., Зиятдинов Н.Н.* Процессы сорбции и биоокисления во флокулах активного ила // *Химическая промышленность.* 2001. № 3. С. 11–13.
4. *Переработка* активного ила / Е.Е. Попова, В.И. Галюжная, Г.А. Вихорева и др. М.: Высш. шк., 2007. 85 с.
5. *Сточные воды и активный ил* / А.С. Репникова, В.И. Яковлев, Г.Ф. Вихорева и др. М.: Высш. шк., 2008. 45 с.
6. *Пахненко Е.П.* Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. 2010. М.: БИНОМ, 311 с.
7. *Зыкова И.В., Панов В.П.* Извлечение тяжелых металлов из избыточного активного ила при аэрировании // *Журнал прикладной химии.* 2005. № 4. С. 608–612.
8. *Щукин Е.Д., Перцо А.В., Амелина Е.А.* Коллоидная химия. М.: Высш. шк., 2006. 444 с.

9. Гончаренко Е.Е., Бадаев Ф.З., Авсинева Н.К. Устойчивость и коагуляция лиофобных зелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 48 с.
10. Deng S., Yu G., Ting Y. Production of bioflocculant and its application in dye removal // *Colloids Surf. B: Biointerface*. 2005. Vol. 44. No. 4. P. 179–186.
11. Khemakhem W., Ammar E., Bakhrouf A. Effect of environmental conditions on hydrophobicity of marine bacteria adapted to textile effluent treatment // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2005. Vol. 21. No. 6–9. P. 1623–1631.
12. Брындина Л.А., Перов С.Н., Корнеева О.С. Интенсификация процессов очистки сточных вод мясоперерабатывающих производств // *Биотехнология*. 2006. № 5. С. 67–69.
13. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация очистки сточных вод химических производств с использованием биофлокулянтов // *Безопасность жизнедеятельности*. 2009. № 10. 24 с.
14. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
15. Гончаренко Е.Е., Ксенофонтов Б.С., Голубев А.М., Петрова Е.В. Использование компьютерной технологии для изучения процессов очистки сточных вод и их интенсификации // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2015. № 4. С. 115–125. DOI: 10.18698/1812-3368-2015-4-115-125
16. *Сборник Рекомендаций Хельсинкской Комиссии: Справ.-метод. пособие*. СПб.: Диалог, 2008. 512 с.
17. Гончаренко Е.Е., Ксенофонтов Б.С., Голубев А.М. Исследование устойчивости и коагуляции лиофобных зелей с применением компьютерной технологии // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2014. № 1. С. 54–65.
18. Zhi-Duo Zhu, Song-Yu Liu. Utilization of new soil stabilizer for silt subgrade // *Engineering Geology*. 2008. Vol. 97. Iss. 3–4. P. 192–198. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.01.003
19. Гончаренко Е.Е., Бадаев Ф.З., Голубев А.М. Химическая кинетика и катализ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 48 с.

REFERENCES

- [1] Henze M., Harremoes P., La Cour Jansen J., Arvin E. *Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes*. Berlin, Springer-Verlag, 2002.
- [2] Nikitina O.G. Modern conception of biological water purification: new approach. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology], 2009, no. 11, pp. 9–20. Available at: <http://watchemec.ru/en/article/12892>
- [3] Sharafullin V.N., Ziyatdinov N.N. The Sorption and Bio-Oxidation Processes in the Activated Sludge Floccules. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical Industry], 2006, no. 3, pp. 11–13 (in Russ.).
- [4] Popova E.E., Galyuzhnaya V.I., Vikhoreva G.A. *Pererabotka aktivnogo ilya* [Processing Activated Sludge]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2007. 85 p.
- [5] Repnikova A.S., Yakovlev V.I., Vikhoreva G.F. *Stochnye vody i aktivnyy il* [Wastewater and Activated Sludge]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2008. 45 p.
- [6] Pakhnenko E.P. *Osadki stochnykh vod i drugie netraditsionnye organicheskie udobreniya* [Sludge and Other Non-Traditional Organic Fertilizers]. Moscow, BINOM Publ., 2010. 311 p.
- [7] Zykova I.V., Panov V.P. Recovery of heavy metals from excess active sludges with aeration. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2005, vol. 78, no. 4, pp. 602–605. DOI: 10.1007/s11167-005-0350-8
- [8] Schukin E.D., Pertso A.V., Amelina E.A. *Kolloidnaya khimiya* [Colloid Chemistry]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2006. 444 p.

- [9] Goncharenko E.E., Badaev F.Z., Avsineeva N.K. Ustoychivost' i koagulyatsiya liofobnykh zoley [Stability and Coagulation of Lyophobic Sols]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2011. 48 p.
- [10] Deng S., Yu G., Ting Y. Production of bioflocculant and its application in dye removal. *Colloids Surf. B: Biointerface*, 2005, vol. 44, no. 4, pp. 179–186.
- [11] Khemakhem W., Ammar E., Bakhrouf A. Effect of environmental conditions on hydrophobicity of marine bacteria adapted to textile effluent treatment. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2005, vol. 21, no. 6–9, pp. 1623–1631.
- [12] Bryndina L.A., Perov S.N., Korneeva O.S. Intensification of Decontamination of Waste Water of Meat-Product Plants. *Biotekhnologiya* [Biotechnology in Russia], 2006, no. 5, pp. 91–95.
- [13] Ksenofontov B.S. Intensification of sewage treatment of chemical manufactures with use bioflocculants. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety], 2009, no. 10, pp. 18–20 (in Russ.).
- [14] Ksenofontov B.S. Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy [Flotation Treatment of Water, Waste and Soil]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2010. 272 p.
- [15] Goncharenko E.E., Ksenofontov B.S., Golubev A.M., Petrova E.V. The use of computer technology for studying of the processes of wastewater treatment and their intensification. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, no. 4, pp. 115–125 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2015-4-115-125
- [16] Sbornik Rekomendatsiy Khel'sinskoy Komissii. Sprav.-metod. posobie [Collection of Recommendations of the Helsinki Commission: Reference Handbook]. St. Petersburg, Dialog Publ., 2008. 512 p.
- [17] Goncharenko E.E., Ksenofontov B.S., Golubev A.M. Investigation of Stability and Coagulation of Lyophobic Sols Using Computer Technology. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2014, no. 1, pp. 54–65 (in Russ.).
- [18] Zhi-Duo Zhu, Song-Yu Liu. Utilization of new soil stabilizer for silt subgrade. *Engineering Geology*, 2008, vol. 97, iss. 3–4, pp. 192–198. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.01.003
- [19] Goncharenko E.E., Badaev F.Z., Golubev A.M. Khimicheskaya kinetika i kataliz [Chemical Kinetics and Catalysis]. Moscow. MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2012. 48 p.

Статья поступила в редакцию 22.03.2016

Ксенофонтов Борис Семенович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Ksenofontov B.S. — Dr. Sci. (Eng.), Professor of Ecology and Industrial Safety Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Гончаренко Евгения Евгеньевна — канд. хим. наук, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Goncharenko E.E. — Cand. Sci. (Chem.), Assoc. Professor of Chemistry Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Ксенофонтов Б.С., Гончаренко Е.Е. Интенсификация процессов очистки воды с использованием биофлокулянта // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 3. С. 118–127.

DOI: 10.18698/1812-3368-2016-3-118-127

Please cite this article in English as:

Ksenofontov B.S., Goncharenko E.E. Intensification of purification of surface sewage by use a bioflocculant. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2016, no. 3, pp. 118–127. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-3-118-127

Вниманию авторов журнала

“Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия “Естественные науки”

Редакция журнала принимает к рассмотрению статьи, оформленные в соответствии с действующими правилами, по следующим темам.

Математика

- Вещественный, комплексный и функциональный анализ
- Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление
- Математическая физика
- Теория вероятностей и математическая статистика
- Математическая логика, алгебра и теория чисел
- Вычислительная математика
- Дискретная математика и математическая кибернетика

Механика

- Теоретическая механика
- Механика деформируемого твердого тела
- Механика жидкости, газа и плазмы
- Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры
- Биомеханика

Физика

- Приборы и методы экспериментальной физики
- Теоретическая физика
- Радиофизика
- Оптика
- Акустика
- Физика конденсированного состояния
- Физика плазмы
- Физика магнитных явлений
- Электрофизика, электрофизические установки