ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

П.Н. Садчиков, Е.В. Давыдова

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18*

Предмет исследования: представлены результаты анализа динамики изменения качества поверхностных вод Нижневолжского бассейна на основе обработки статистических данных мониторинга степени их загрязнения за длительный период времени. Зафиксированы значительные всесезонные превышения предельно допустимых норм по концентрации в воде целого спектра фоновых и антропогенных загрязнителей. Выявлены недостатки реализации существующих методов, позволяющих оценить динамику изменения состояния экосистемы водного бассейна и произвести отбор наиболее существенных параметров для построения математической модели по выбору наиболее эффективной технологии очистки сточных вод.

Цель: отбор и оценка входных параметров математической модели, реализация которой обеспечит поиск оптимальной технологии и соответствующих технических средств очистки поверхностных сточных вод.

Материалы и методы: проведенное исследование построено на комплексной оценке широкого спектра гидрохимических показателей загрязнения сбрасываемых сточных вод в контролируемых створах с использованием статистических методов обработки данных наблюдений.

Результаты: выявлены наиболее существенные параметры, позволяющие сформировать концептуальную модель, и определена степень их влияния на выбор оптимальных средств и методов очистки сточных вод.

Выводы: необходимо построение математической модели оценки качества очистки поверхностных сточных вод урбанизированных территорий для совершенствования технологических параметров очистных сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные ресурсы, экосистема, концептуальная модель, управляющий критерий, концентрация загрязнений, качество очистки, сточные воды, гидрохимический показатель, комплексная оценка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Садчиков П.Н., Давыдова Е.В. Определение параметров концептуальной модели управления качеством очистки поверхностных сточных вод // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 11 (110). С. 1408–1414.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE CONCEPTUAL MODEL FOR QUALITY CONTROL OF SURFACE WASTEWATER TREATMENT

P.N. Sadchikov, E.V. Davydova

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE),
18 Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russian Federation*

Subject: the results of the analysis of the dynamics of changes in the quality of surface waters in the Lower Volga basin are presented based on the processing of statistical data on the long-term monitoring of their contamination degree. Significant all-season excesses of the maximum permissible values for the concentration of a whole range of background and anthropogenic pollutants in water were recorded. We identified the shortcomings of implementation of the existing methods that allow us to assess the dynamics of the state of the water basin ecosystem and choose the most essential parameters for constructing a mathematical model of selection of the most effective wastewater treatment technology.

Research objectives: selection and evaluation of the input parameters of the mathematical model, the implementation of which will ensure the search for the optimal technology and appropriate technical solutions for cleaning surface sewage.

Materials and methods: the conducted study is based on a comprehensive assessment of a wide range of hydro-chemical indicators of contamination of discharged wastewater in controlled locations using statistical methods for processing experimental data.

Results: we identified the most essential parameters that allow us to form a conceptual model, and we determined the degree of their influence on the selection of the optimal solutions and methods of wastewater treatment.

Conclusions: conclusions obtained during the study indicate the need for creation of a mathematical model of assessment of the quality of surface sewage treatment in urbanized areas for improvement of technological parameters of treatment facilities.

KEY WORDS: water resources, ecosystem, conceptual model, governing criterion, pollution concentration, quality of cleaning, wastewater, hydro-chemical indicator, comprehensive assessment

FOR CITATION: Sadchikov P.N., Davydova E.V. Opredelenie parametrov kontseptual'noy modeli upravleniya kachestvom oчитki poverkhnostnykh stochnykh vod [Determination of parameters of the conceptual model for quality control of surface wastewater treatment]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 12 (111), pp. 1408–1414.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень экологического состояния водных ресурсов на большей части территории Российской Федерации приближается к критическому. Одной из основных причин является увеличение объемов поступления загрязняющих антропогенных веществ в поверхностные источники при крайне низкой эффективности работы очистных сооружений, вызванной применением устаревших технологий и технических средств. Так, согласно обобщенным статистическим данным по Российской Федерации, в водные объекты ежегодно осуществляется сброс в среднем 52 км³ сточных вод, около 20 км³ из которых подлежат очистке, и лишь 10 % из них соответствуют установленным нормативам качества. Оставшаяся же часть от общего объема сбрасывается либо недостаточно очищенной, либо вовсе без очистки [1].

Таким образом, в качестве одной из приоритетных задач современной науки и общества выступает необходимость сохранения экосистемы водного бассейна для возможности воспроизводства и поддержания биологического разнообразия природных ресурсов, а также обеспечения населения чистой водой [1, 2].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На решение поставленной задачи направлены изыскания большого числа отечественных и зарубежных ученых. В ходе представленных исследований накоплены значительные объемы экспериментальных данных. Сложности возникают на этапе их обработки и обобщении при математическом моделировании динамики изменения состояния экосистем по фактору времени.

Существующие в настоящее время модели облагодают рядом недостатков:

- экстраполяция прогнозных оценок в ряде случаев затруднена, хотя интерполяция исходных данных выполняется с требуемой точностью;
- информация в конкретной контрольной точке должна быть собрана за сравнительно короткий срок по единой методике;
- оценка качественных показателей, существенных для обоснования изменения состояния объекта исследования, если и возможна, то крайне субъективна.

Выявленные недостатки указывают на необходимость совершенствования средств и методов прогнозирования развития ситуации в будущем. В целях формирования системного подхода к выбору наиболее

эффективной схемы технологического процесса и соответствующих технических средств очистки воды группой ученых Комплексного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии под руководством проф. Н.Г. Журбы построена система классификаторов [2–4]. Результаты, представленные ими, вызывают интерес с точки зрения обобщения накопленных знаний и опыта по определению средств и методов очистки воды в зависимости от присутствия в ней конкретных видов загрязнителей. Однако данный классификатор рассматривается авторами статьи лишь в качестве источника формирования и наполнения базы данных. Принятие решения по выбору оптимальной технологии и соответствующих технических средств очистки поверхностных сточных вод возможно на основе результатов реализации математической модели. В качестве управляющих критериев при ее построении определены степень очистки воды и скорость фильтрации [2–8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки входных параметров модели в ходе настоящего исследования проведен мониторинг качества воды в нижнем течении Волги и ее рукавов, расположенных на территории Астраханской области. Выбор объектов обследования обусловлен тем, что при охвате лишь 8 % общей площади Российской Федерации с прилегающих территорий в Волжский бассейн производится сброс сточных вод более 45 % всех промышленных и 50 % сельскохозяйственных предприятий страны. Токсическая нагрузка на экосистему усиливается объемами загрязнений коммунального хозяйства и ливневыми стоками 442 городов [4, 7, 9, 10].

Географически пойменная и дельтовая зоны бассейна располагаются в Прикаспийской низменности, образуя большую «сточную яму» накопления загрязнений по всему спектру элементов таблицы Менделеева [7]. Несмотря на физико-химические и биологические процессы, а также процессы полимеризации, приводящие к частичному самоочищению воды и снижению миграционной способности загрязняющих веществ, в рукавах устья реки фиксируется максимум присутствия токсических соединений.

В связи с большой протяженностью бассейна в нижнем течении Волги и многочисленностью ее рукавов в дельтовой зоне произведено его сегментирование. Анализ статистической информации проведен на основе данных наблюдений по 11 по-

стам Астраханского областного центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, распределенным по руслу Волги и створам крупных ее рукавов [6, 8, 11]. Результаты проведенного исследования указывают на значительные сезонные колебания концентраций в воде загрязняющих веществ, причиной которых является смена гидрологических режимов. Однако выделенные диапазоны варьирования по многим показателям содержания примесей, имеющим как фоновый, так и антропогенный характер образования, не укладываются в нормативные рамки предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, определенных для поверхностных вод рыбохозяйственного водопользования¹.

При поиске диапазонов варьирования концентрации загрязнителей использовались результаты наблюдений за период 2006–2015 гг. [12]. Анализ выборочной совокупности данных по степени присутствия каждого из вредных компонентов в пробах воды проведен на основе следующих числовых статистических характеристик:

- средняя арифметическая величина

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{X}_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} \right),$$

- среднеквадратическое отклонение

$$\sigma(X) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{X}_j^2 - \bar{X}^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} \right)^2 - \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{X}_j \right)^2,$$

- коэффициент вариации $Var(x) = \frac{\sigma(X)}{\bar{X}}$,

¹ ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (с изменениями от 28 сентября 2007 г.).

где x_{ij} — концентрация компонента в i -й пробе воды j -го года наблюдений; $\bar{X}_j$ — среднегодовая концентрация компонента за j -й год наблюдений; n_j — общий объем проб за j -й год наблюдений, где $j = 1 \dots m$ (табл. 1).

В ходе анализа также дана оценка изменения объемов накопления в водоемах устья Волги загрязняющих веществ за тот же период времени на основе среднегодового коэффициента роста

$$- \sqrt{\Pi}.$$

Он представляет собой среднее геометрическое цепных коэффициентов роста и показывает, во сколько раз в среднем за год изменяется концентрация примесей по отношению к аналогичному показателю за предыдущий период (рис.).

Графическая интерпретация значений среднегодовых коэффициентов роста, представленная на рисунке, позволяет сделать вывод о неблагоприятной динамике на увеличение отдельной группы вредных веществ в пробах воды [13, 14]. К данной группе следует отнести: свинец, фосфаты, аммонийный азот, фенолы, ртуть, сульфаты, рассматриваемый показатель для которых значительно превышает единицу. Так, значение $\bar{K}_p \approx 1,3$ по свинцу свидетельствует о том, что концентрация данного вещества в пробах воды с 2006 по 2015 г. в среднем в год увеличивается в 1,3 раза, образуя геометрическую прогрессию уровней временного ряда динамики.

В качестве одного из основных факторов, определяющих выявленную динамику ухудшения экологической ситуации водных объектов дельтовой зоны Волжского бассейна, является увеличение объемов сброса неочищенных до требуемых нормативов поверхностных сточных вод с прилегающих сели-

Табл. 1. Числовые статистические характеристики распределения сезонных концентраций загрязняющих веществ в водах Нижневолжского бассейна

Наименование загрязнителя	Статистические показатели			Диапазон варьирования, мг/л	ПДК, мг/л
	$\bar{X}$, мг/л	σ , мг/л	$Var(x)$, %		
СПАВ	0,026	0,007	28	[0,019; 0,033]	0,1
Нефтепродукты	0,201	0,054	27	[0,147; 0,255]	0,05
Фенолы	0,0039	0,0008	22	[0,0031; 0,0047]	0,001
Цинк	0,035	0,004	11	[0,031; 0,039]	0,01
Медь	0,0064	0,0017	27	[0,0047; 0,0081]	0,001
Общее железо	0,179	0,034	19	[0,145; 0,213]	0,1
Никель	0,0054	0,0012	22	[0,0042; 0,0066]	0,01
Хром	0,0013	0,0003	24	[0,0010; 0,0016]	0,07
Свинец	0,0021	0,0008	38	[0,0013; 0,0029]	0,006
Кобальт	0,0008	0,0006	78	[0,0002; 0,0014]	0,001
Кадмий	0,00029	0,00012	43	[0,00017; 0,00041]	0,001
Марганец	0,00088	0,00054	62	[0,00034; 0,00142]	0,01
Ртуть	0,000039	0,000022	58	[0,000017; 0,000061]	0,0005

Среднегодовые коэффициенты роста концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водах бассейна нижней Волги за период 2006–2015 гг., %

тебных территорий и производственных площадок вдоль всего русла реки [14, 15]. Проводя анализ структуры сбрасываемых сточных вод по данным государственных докладов об экологической обстановке на территории Астраханской области за 2008–2014 гг. [12], видим, что доля недостаточно очищенных сточных вод в общем их объеме за данный период возросла с 14 до 16,4 %. Преимущественно данный факт обусловлен снижением эффективности очистных сооружений предприятий жилищно-коммунального хозяйства, построенных еще в первой половине прошлого века. Что касается ливневых и дренажных вод, то они и по сей день сбрасываются в Волгу безо всякой очистки [7, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования авторами статьи проведены испытания по отбору проб воды из колодцев ливневой канализации, расположенных по центральным улицам города Астрахани. Полученные в теплое время года пробы подвергнуты анализу на предмет присутствия в них загрязняющих веществ. Обработка результатов сведена к установлению кратности превышений ПДК содержания каждого из выявленных загрязнителей в опытных образцах. В табл. 2 представлены выборочные данные по некоторым из них.

Полученные результаты демонстрируют многократное превышение нормативных значений для

Табл. 2. Средняя кратность превышений ПДК по содержанию загрязняющих веществ в пробах воды уличной ливневой канализации г. Астрахани

Показатели	Результаты испытаний					Среднее значение
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
Ионы аммония	51	147	34	62	77	74
Биохимическое потребление кислорода	101	170	125	164	162	144
Взвешенные вещества	493	1892	1280	2193	3659	1903
Кислотность Ph	1,05	1,14	1,22	1,22	1,2	1,17
Общее железо	74	107	99	123	163	113
Перманганатная окисляемость	4,3	6,4	8,7	8,5	4,5	6,5
Сульфаты	0,25	0,36	2,02	1,88	0,6	1,02
Фенолы	42	64	42	64	12	45
Хлориды	0,18	0,41	0,62	0,56	0,47	0,45
Медь	70	72	56	55	42	59
Химическое потребление кислорода	42	68	48	63	122	69
Цинк	23	51	19	21	33	29
Свинец	5	6,7	4,3	5,3	3,3	4,9
Хром	0,19	0,29	0,13	0,11	0,14	0,17
Марганец	8	12	11	10	12	11
Нефтепродукты	75	130	114	101	91	102

поверхностных вод рыбохозяйственного водопользования по подавляющему большинству позиций. Даже учитывая, что в силу природно-климатических условий Астраханской области объем сброса ливневых и дренажных вод не превосходит 0,32 % от общего объема сточных вод, попадающих в водоем, он значительно усиливает токсическую нагрузку на экосистему. Это объясняется тем, что сброс без очистки 1 м³ такой воды ведет к загрязнению до предельных значений нормативов более 100 м³ абсолютно чистой воды. Если учесть и без того значительное загрязнение водоисточника (см. табл. 1), то соответствующее воздействие усиливается многократно.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в качестве наиболее существенных входных параметров концептуальной модели по выбору наиболее эффективной технологии и технических средств очистки поверхностных сточных вод следует выделить:

- группу сточных вод согласно классификации (хозяйственно-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные, атмосферные);
- класс источника водосброса;
- факторы и объемы антропогенного воздействия;
- фазодисперсное состояние примесей.

Установление функциональной зависимости между перечисленными параметрами должно быть представлено в виде задачи оптимизации при выборе в качестве управляющих критериев степени очистки воды и скорости ее фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boronina L., Sadchikov P., Tazhieva S. et al. Effectiveness of the automation selection of water treatment technology in a particular water source // *Advanced Materials Research*. 2014. Vols. 1073–1076. Pp. 1039–1042.
2. Юречко М.А., Шиккульская О.М. Идентификация состояния водной экосистемы под влиянием тяжелых металлов на основе информационно-аналитических методов // *Биотехносфера*. 2014. № 3 (33). С. 69–71.
3. Shikulskaya O., Boronina L., Yurechko M. et al. Cognitive analysis of the heavy metals influence on the aquatic ecosystem // *Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA): 2015 6th International Conference*. 2015. pp. 1–5.
4. Боронина Л.В., Садчиков П.Н., Тажиева С.З., Москвичева Е.В. Исследование сезонной динамики загрязненности поверхностных вод Нижневолжского бассейна // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 43. № 4. С. 419–425.
5. Boronina L.V., Sadchikov P.N., Tazhieva S.Z., Moskvicheva E.V. Studying seasonal dynamics of surface water pollution in Lower Volga Basin // *Water Resources*. 2017. Vol. 43. No. 4. Pp. 657–662.
6. Боронина Л.В., Абуова Г.Б., Рыльцева Т.Ф. и др. Изучение процесса адсорбции органических веществ в водных средах силикатсодержащими частицами // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2013. № 32 (51). С. 116–121.
7. Ким А.Н., Давыдова Е.В., Полянская Д.И. Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспектива развития // *Градостроительство и архитектура*. 2016. № 2 (23). С. 31–35.
8. Боронина Л.В., Садчиков П.Н. Оценка качества поверхностных водоисточников на основе показателей временных рядов динамики // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2012. № 11. С. 15–21.
9. Ким А.Н. Глубокая очистка поверхностного стока перед сбросом в природный водоем // *Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды : Межвуз. сб. науч. тр. Ростов н/Д*, 2006. Вып. 10. С. 46–48.
10. Стрелков А.К., Гриднева М.А., Набок Т.Ю. и др. Влияние урбанизации на системы водоотведения и очистки поверхностного стока (на примере г. Самары) // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2014. № 4 (17). С. 55–62.
11. Боронина Л.В., Садчиков П.Н., Тажиева С.З., Усынина А.Э. Комплексная оценка загрязненности поверхностных вод Нижневолжского бассейна на основе интегральных показателей // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2014. № 1 (7). С. 66–71.
12. Доклады и отчеты // *Служба природопользования и охраны окружающей среды Астраханской области*. Режим доступа: <https://nat.astrob1.ru/service/doklady>.
13. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. М. : Изд-во АСВ, 2002. 230 с.
14. Ким А.Н., Давыдова Е.В. Воздействие загрязненного поверхностного стока на окружающую среду // *Потенциал интеллектуально одаренной молодежи — развитию науки и образования : мат. VI Междунар. науч. форума мол. уч., студ. и шк. / под общ. ред. Д.П. Ануфриева*. 2017. С. 99–101.
15. Жуков Н.Н. Актуальные задачи и проблемы обеспечения населения России питьевой водой //

Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 1. С. 10–13.

16. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Л. : Стройиздат, 1990. 224 с.

17. Брык М.Т., Нигматулин Р.Р. Наночистка и наночисточные мембраны // Химия и технология воды. 1995. Т. 17. № 4. С. 395–396.

Поступила в редакцию 18 сентября 2017 г.

Принята в доработанном виде 18 октября 2017 г.

Одобрена для публикации 17 ноября 2017 г.

О Б АВТОРАХ: **Садчиков Павел Николаевич** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования, **Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ)**, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18, pn_sadchikov@mail.ru;

Давыдова Екатерина Васильевна — аспирант кафедры инженерных систем и экологии, **Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ)**, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18, katya_11_05@mail.ru.

REFERENCES

1. Boronina L., Sadchikov P., Tazhieva S. et al. Effectiveness of the automation selection of water treatment technology in a particular water source. *Advanced Materials Research*. 2014. Vols. 1073–1076. Pp. 103–1042.

2. Yurechko M.A., Shikul'skaya O.M. Identifikatsiya sostoyaniya vodnoy ekosistemy pod vliyaniem tyazhelykh metallov na osnove informatsionno-analiticheskikh metodov [Identification of the state of the aquatic ecosystem under the influence of heavy metals on the basis of information-analytical methods]. *Biotehnosfera* [Biotechnosphere]. 2014, no. 3 (33), pp. 69–71. (In Russian)

3. Shikul'skaya O., Boronina L., Yurechko M. et al. Cognitive analysis of the heavy metals influence on the aquatic ecosystem. *Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA): 2015 6th International Conference*. 2015. pp. 1–5.

4. Boronina L.V., Sadchikov P.N., Tazhieva S.Z., Moskvicheva E.V. Issledovanie sezonnoy dinamiki zagryaznenosti poverkhnostnykh vod Nizhnevolzhskogo basseyna [Studying seasonal dynamics of surface water pollution in Lower Volga Basin]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2017, vol. 43, no. 4, pp. 419–425. (In Russian)

5. Boronina L.V., Sadchikov P.N., Tazhieva S.Z., Moskvicheva E.V. Studying seasonal dynamics of surface water pollution in Lower Volga Basin. *Water Resources*. 2017, vol. 43, no. 4, pp. 657–662.

6. Boronina L.V., Abuova G.B., Ryl'tseva T.F. et al. Izuchenie protsessov adsorbtsii organicheskikh veshchestv v vodnykh sredakh silikatsoderzhashchimi chastitsami [Study of the process of organic substances adsorption in water environment with silicate containing particles]. *Vestnik VolGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University

of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2013, no. 32 (51), pp. 116–121. (In Russian)

7. Kim A.N., Davydova E.V., Polyanskaya D.I. Otvedenie i ochistka poverkhnostnogo stoka v Astrakhani: sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya [Disposal and treatment of surface runoff in Astrakhan: current state and prospects of development]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Town Planning and Architecture]. 2016, no. 2 (23), pp. 31–35. (In Russian)

8. Boronina L.V., Sadchikov P.N. Otsenka kachestva poverkhnostnykh vodoistochnikov na osnove pokazateley vremennykh ryadov dinamiki [Estimation of the quality of surface water sources on the basis of indicators of time series of dynamics]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering]. 2012, no. 11, pp. 15–21. (In Russian)

9. Kim A.N. Glubokaya ochistka poverkhnostnogo stoka pered sbrosom v prirodnyy vodoem [Deep cleaning of surface runoff before discharge into a natural body of water]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Okhrana truda i okruzhayushchey sredy : Mezhd. sb. nauch. tr.* [Life safety. Protection of labor and the environment : Interuniversity collection of scientific papers]. Rostov-na-Donu, 2006, issue 10, pp. 46–48. (In Russian)

10. Strelkov A.K., Gridneva M.A., Nabok T.Yu. et al. Vliyanie urbanizatsii na sistemy vodootvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka (na primere g. Samary) [Influence of urbanization on the systems of water disposal and surface discharge purification (in Samara)]. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the SGASU. Town Planning and Architecture]. 2014, no. 4 (17), pp. 55–62. (In Russian)

11. Boronina L.V., Sadchikov P.N., Tazhieva S.Z., Usynina A.E. Kompleksnaya otsenka zagryaznenosti poverkhnostnykh vod Nizhnevolzhskogo basseyna na

osnove integral'nykh pokazateley [Complex assessment of pollution of surface waters of the Lower Volga basin on the basis of integrated indicators]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. 2014, no. 1 (7), pp. 66–71. (In Russian)

12. Doklady i otchety [Presentations and Reports]. *Cluzhba prirodopol'zovaniya i okhrany okruzhayushchey sredy Astrakhanskoy oblasti* [Service of nature management and environmental protection of the Astrakhan region]. Available at: <https://nat.astrobl.ru/service/doklady>. (In Russian)

13. Kichigin V.I. *Modelirovanie protsessov ochistki vody* [Modeling of water purification processes]. Moscow, ASV Publ., 2002. 230 p. (In Russian)

14. Kim A.N., Davydova E.V. Vozdeystvie zagryaznennogo poverkhnostnogo stoka na okruzhayushchuyu sredu [Impact of contaminated surface runoff on the environment]. *Potentsial intellektual'no odarennoy molodezhi — razvitiyu nauki i obrazovaniya: mat. VI Mezhdunar. nauch. foruma mol. uchennykh, studentov*

i shkol'nikov [Potential of intellectually gifted youth — development of science and education: proceedings of the VI International Scientific forum of young scientists, students and schoolchildren]. 2017, pp. 99–101. (In Russian)

15. Zhukov N.N. Aktual'nye zadachi i problemy obespecheniya naseleniya Rossii pit'evoy vodoy [Actual problems and problems of providing the population of Russia with drinking water]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering]. 2000, no. 1, pp. 10–13. (In Russian)

16. Dikarevskiy V.S., Kurganov A.M., Nechaev A.P., Alekseev M.I. *Otvedenie i ochistka poverkhnostnykh stochnykh vod* [Removal and cleaning of surface sewage]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1990. 224 p. (In Russian)

17. Bryk M.T., Nigmatulin R.R. Nanofil'tratsiya i nanofil'tracionnye membrany [Nanofiltration and nanofiltration membranes]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Chemistry and Technology of Water]. 1995, vol. 17, no. 4, pp. 395–396. (In Russian)

Received September 18, 2017.

Adopted in final form on October 18, 2017.

Approved for publication on November 17, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Sadchikov Pavel Nikolaevich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automated Design and Modeling Systems, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatischeva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, pn_sadchikov@mail.ru;

Davydova Ekaterina Vasil'evna — Post-graduate student, Department of Engineering Systems and Ecology, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatischeva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, katya_11_05@mail.ru.