

УДК 628.32

## ОЧИСТКА НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ЗАКАЧКИ В ПЛАСТ

Короткова Т.Г., Ксандопуло С.Ю., Заколюкина А.М., Самофал Д.Ю.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,  
e-mail: korotkova1964@mail.ru

Приведены результаты анализов качества пластовой воды, поверхностного стока и очищенных нефтепромысловых сточных вод (НСВ) месторождения Прибрежное Краснодарского края. Содержание нефтепродуктов в пластовых водах составляет 149 мг/дм<sup>3</sup>, взвешенных веществ 14 мг/дм<sup>3</sup>. Поверхностная (дождевая) сточная вода содержит нефтепродуктов менее 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание нефтепродуктов в очищенных сточных водах колеблется от 60 до 160 мг/дм<sup>3</sup>, что является допустимым, но неблагоприятным показателем, снижающим нефтеотдачу пласта. Предложена схема очистки НСВ, включающая четыре стадии: предочистку, обработку, очистку и доочистку. Для предочистки и обработки установлен перевернутый гидроциклон, способствующий интенсификации разрушения бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы и промежуточного слоя грубодисперсной фазы и частичному выведению концентрированных нефтепродуктов и выделившихся газов через верхний штуцер. Стадия очистки протекает в отстойнике с нижними и верхними перегородками. Перегородки предназначены для изменения траектории движения воды вверх и вниз с целью турбулизации жидкости для отделения нефтяного шлама и коалесценции капель нефтепродуктов. Для каждой секции предусмотрен дренаж в виде конических емкостей с нижним штуцером для удаления взвешенных веществ (нефтяного шлама). На выходе из бокового штуцера отстойника, расположенного в верхней части, удаляется нефтяная эмульсия (уловленная нефть), которая рециркулируется на очистку в гидроциклон. Из нижнего бокового штуцера, приподнятого относительно дна отстойника, выводится очищенная сточная вода и подается на доочистку в самопромывной песчаный фильтр. Промывные воды песчаного фильтра, содержащие нефтепродукты, сбрасываются в гидроциклон. Из песчаного фильтра выводится очищенная сточная вода.

**Ключевые слова:** загрязнение, нефтепромысловые сточные воды, количественный химический анализ, схема очистки

## OILFIELD WASTEWATER TREATMENT FOR INJECTION INTO THE RESERVOIR

Korotkova T.G., Ksandopulo S.Yu., Zakolyukina A.M., Samofal D.Yu.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: korotkova1964@mail.ru

The results of analyzes of the reservoir water quality, surface runoff and treated oilfield wastewater (OFWW) from the Pribrezhnoye deposit of the Krasnodar Region are presented. The petroleum content in the reservoir waters is 149 mg/l, suspended solids 14 mg/dm<sup>3</sup>. Surface (rain) waste water contains petroleum less than 0.05 mg/l. The content of petroleum products in treated wastewater ranges from 60 to 160 mg/l, which is an acceptable but unfavorable indicator, which reduces the petroleum recovery. A scheme for the purification of OFWW is proposed, which includes four stages: pretreatment, preparation, treatment and after-treatment. For pretreatment and preparation, an inverted hydrocyclone is installed, contributing to the intensification of the destruction of the reservation shells on the drops of the dispersed phase and the intermediate layer of the coarse phase and the partial elimination of concentrated petroleum products and released gases through the upper fitting. The treatment stage proceeds in a settling basin with lower and upper partitions. Partitions are designed to change the trajectory of water movement up and down in order to turbulize liquid to separate petroleum sludge and coalescence of petroleum droplets. For each section, drainage is provided in the form of conical tanks with a lower fitting to remove suspended solids (petroleum sludge). At the outlet of the side fitting of the settling tank, located in the upper part, petroleum emulsion (trapped petroleum) is removed, which is recycled to the hydrocyclone for cleaning. Purified sewage is discharged from the lower side fitting, which is raised relative to the bottom of the settler, and is fed to the after-treatment in a self-washing sand filter. Sand filter wash water containing oil products is discharged into a hydrocyclone. Purified waste water is removed from the sand filter.

**Keywords:** pollution, oilfield wastewater, quantitative chemical analysis, treatment scheme

На нефтяных месторождениях в процессе добычи нефти извлекаются пластовые воды, которые отделяются от нефти на установках подготовки нефти и представляют собой жидкие нефтесодержащие отходы. Пластовые воды (80–95%), ливневые (дождевые стоки) (1–3%) и производственные стоки (4–15%) образуют нефтепромысловые сточные воды (НСВ). Нефть в НСВ находится в растворенном, эмульгированном и свободном (плавающем) состояниях. Кроме нефти

в НСВ содержатся механические примеси (выбуренная порода, продукты коррозии, деэмульгаторы и т.д.) и растворенные газы (азот, сероводород, метан, кислород и др.). При очистке НСВ удаляются механические примеси (взвешенные вещества), плавающая и эмульгированная нефть и вещества, применяемые в технологии добычи нефти из скважины. Растворенная нефть практически не оказывает какого-либо влияния на приемистость нагнетательных скважин [1].

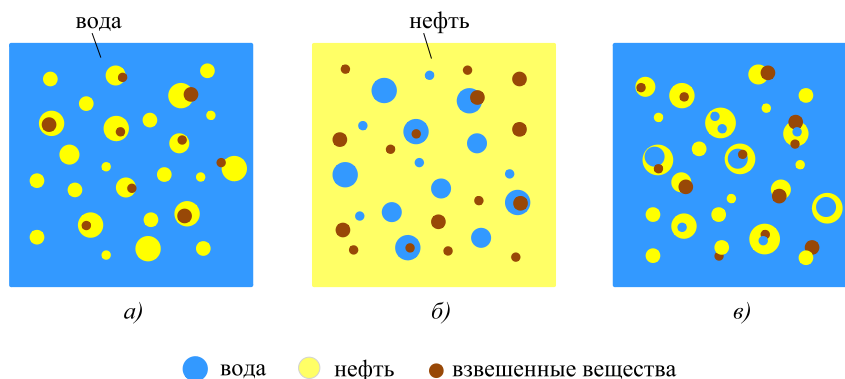


Рис. 1. Типы суспензионно-эмульсионных систем: а) прямая; б) обратная; в) множественная

Сложность очистки НСВ заключается в том, что механические примеси и нефть существуют совместно, а не раздельно. Это мнение, изложенное ведущим инженером филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» Л.В. Закшевской в [2], основано на экспериментальных исследованиях по извлечению примесей из воды. Все механические примеси смочены нефтью. На границе раздела фаз нефть – вода образуется высококонцентрированная грубодисперсная эмульсия промежуточного слоя, в которой концентрация механических примесей во много раз превышает их концентрацию в нефти или в воде. При разрушении этого слоя в зависимости от плотности скоагулированного комплекса в отстойнике будет происходить либо его осаждение, либо всплытие. При закачке очищенной воды в нагнетательные скважины примеси, остающиеся в воде после очистки, представляют собой эмульгированные пленки разрушенных структур промежуточных слоев.

Таким образом, НСВ полидисперсны и многофазны и представляют собой суспензионно-эмульсионную систему, классификацию которой на основе вышеизложенного представим аналогично классификации типов эмульсий и назовем прямой (а), обратной (б) и множественной (в) (рис. 1). Промежуточный слой грубодисперсной эмульсии на границе фаз нефть – вода представим упрощенно на рис. 2.

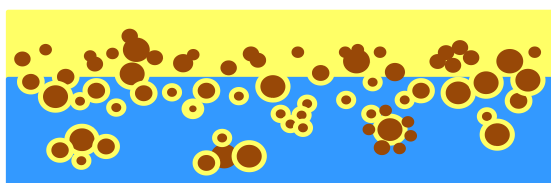


Рис. 2. Промежуточный слой грубодисперсной эмульсии

Очистку НСВ осуществляют с помощью механических и гидромеханических процессов: перемешиванием, отстаиванием, центрифугированием и фильтрованием с целью разрушения бронирующих оболочек на каплях нефти, коалесценции капель нефти и выведения частично сконцентрированной нефтяной фазы и осадка (механические примеси). В качестве оборудования используют резервуары с мешалками, отстойники, сепараторы, центрифуги, гидроциклоны, каплеобразователи, флотаторы и фильтры. Исследованы физико-химические методы воздействия, такие как влияние магнитного поля [3] и вибрация [4], электрохимические – электрокоагуляция [5], электрофлотация [6] и др. Широкое распространение получили блочные установки, комбинирующие методы центрифугирования и отстаивания [1], центрифугирования и коалесценции [7].

Целью данной работы была разработка схемы очистки нефтепромысловых сточных вод для закачки в пласт на основе показателей качества поверхностной, пластовой и очищенной нефтепромысловой сточной воды на нефтяном месторождении Прибрежное (Краснодарский край).

#### Материалы и методы исследования

Количественный химический анализ поверхностной, пластовой и очищенной воды выполнен сотрудниками отдела обеспечения разработки месторождений углеводородов филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – ИТЦ по нормативным документам: водородный показатель (рН) ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97; взвешенные вещества РД 52.24.468-2005; нефтепродукты ПНД Ф 14.1:2:4.5-95; БПК<sub>5</sub> ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97; сухой остаток (общая минерализация) ПНД Ф 14.1:2:4.114-97; железо (окисное)

ПНД Ф 14.1.2:4.50-96; кальций ПНД Ф 14.1:2:3.95-97; магний РД 52.24.395-2017; хлорид-ион РД 52.24.407-2017; карбонат-ион ГОСТ 31957-2012; гидрокарбонат-ион ГОСТ 31957-2012; сульфат-ион РД 52.24.483-2005; сероводород и сульфиды (в пересчете на сероводород) РД 52.24.450-2010; растворенный кислород РД 52.24.419-2005; содержание суммы ионов натрия и калия выполнено расчетным методом; плотность определена ареометрическим методом при температуре 25 °С.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Степень очистки НСВ определяется индивидуально для каждого месторождения. Как было изложено выше, сложность заключается в отделении от воды эмульгированной нефти и грубодисперсной эмульсии. Содержание нефти и механических примесей в очищенной сточной воде нефтяных месторождений превышает нормативы, определяемые отраслевым стандартом ОСТ 39-225-88, в котором изложены требования к качеству воды, применяемой для заводнения нефтяных пластов, в зависимости от коллекторских свойств пласта. Согласно этому документу при проницаемости пористой среды коллектора свыше 0,6 мкм<sup>2</sup> максимальное допустимое содержание механических примесей должно быть до 50 мг/л и нефти до 50 мг/л. В настоящее время действие ОСТ 39-225-88 не определено законо-

дательством в связи с вступлением в силу ФЗ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Повышенное содержание нефти и взвешенных веществ в воде, закачиваемой в пласт, приводит к неполному извлечению нефти из скважины.

Основное содержание НСВ составляют пластовые воды. Состав пластовой воды месторождения Прибрежное (Краснодарский край) для скважины № 4 в декабре 2018 г. составил, в мг/л: взвешенные вещества 14 ± 4; нефтепродукты 149 ± 21; сухой остаток (общая минерализация) 12200 ± 600; железо (окисное) 2,15 ± 0,32; кальций 36 ± 4; магний 21,2 ± 3; хлорид-ион 5840 ± 70; карбонат-ион менее 6; сульфат-ион 90 ± 8; сероводород и сульфиды (в пересчете на сероводород) менее 0,05; растворенный кислород 2,64 ± 0,26; сумма ионов натрия и калия 4500 ± 1100. Плотность составила 1003 ± 5 кг/м<sup>3</sup>. Водородный показатель 7,82 ± 0,2 ед. рН.

Поверхностные (ливневые) сточные воды или дождевой сток в НСВ присутствуют на уровне 3%. Состав ливневых сточных вод с территории установки комплексной подготовки газа и конденсата (УКПГиК) Прибрежного месторождения в октябре 2016 г. составил: рН = 6,7 ± 0,2; нефтепродукты менее 0,05 мг/л; БПК<sub>5</sub> = 2,1 ± 0,5 мгО<sub>2</sub>/л; железо общее 0,075 ± 0,022 мг/л. По показателю рН дождевой сток находится на границе между слабокислой средой (рН = 4-6) и нейтральной (рН = 7).

Показатели качества очищенной воды для закачки в пласт месторождения Прибрежное Краснодарского края (нагнетательная скважина № 4, 2017 г.)

Точка отбора	Показатель	Ед. изм.	Результат КХА с указанием погрешности (при P = 0,95)			
			I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Емкость с пластовой водой	Массовая концентрация взвешенных веществ	мг/л	105 ± 7	173 ± 7	48 ± 4	22 ± 4
	Массовая концентрация нефтепродуктов	мг/л	103 ± 14	141 ± 20	71 ± 10	65 ± 9
	Водородный показатель	ед. рН	7,25 ± 0,20	7,23 ± 0,2	7,05 ± 0,2	7,15 ± 0,2
	Массовая концентрация железа (III)	мг/л	1,67 ± 0,25	1,75 ± 0,26	–	1,41 ± 0,21
	Массовая концентрация метанола	мг/л	1020 ± 120	<0,5	3020 ± 360	1160 ± 140
	Массовая концентрация сероводорода и сульфидов	мг/л	<0,05	<0,05	–	<0,05
	Массовая концентрация растворенного кислорода	мг/л	3,16 ± 0,1	2,84 ± 0,28	3,80 ± 0,12	2,76 ± 0,28

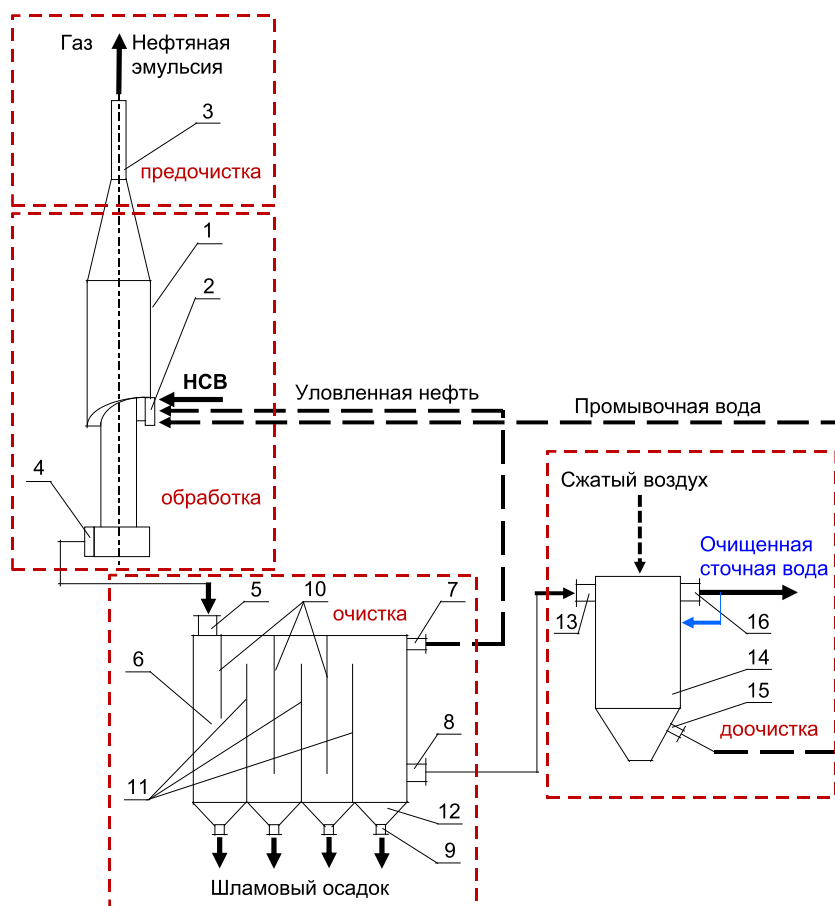


Рис. 3. Схема установки для очистки нефтепромысловых сточных вод для закачки в пласт: 1 – гидроциклон; 2 – патрубок подвода исходной нефтепромысловой сточной воды; 3 – патрубок отвода верхнего слива; 4 – патрубок отвода нижнего слива; 5 – входной патрубок отстойника; 6 – отстойник; 7 – патрубок отвода нефтяной эмульсии, 8 – патрубок очищенной воды; 9 – патрубок отвода шламового осадка; 10 – верхние вертикальные перегородки; 11 – нижние вертикальные перегородки; 12 – коническое днище; 13 – входной патрубок самопромывного песчаного фильтра; 14 – самопромывной песчаный фильтр; 15 – патрубок отвода промывочной воды; 16 – патрубок отвода очищенной воды

Очистка НСВ проводится в отстойниках. Показатели качества за 4 квартала 2017 г. приведены в таблице. Несмотря на поквартальное снижение концентраций взвешенных веществ с 105 до 22 мг/л и нефтепродуктов с 103 до 65 мг/л, их содержание в очищенной воде остается завышенным. В настоящее время нефтедобывающее предприятие руководствуется собственными временными нормами, поэтому данные показатели качества воды для закачки в пласт являются допустимыми. В перспективе – снижение концентраций примесных компонентов в очищенной сточной воде.

Для разработки установки очистки НСВ нами проведено исследование стадий очистки, осуществляемых в современных предла-

гаемых установках, защищенных патентами РФ, и предложена структура очистки НСВ, включающая четыре стадии: предочистку, обработку, очистку и доочистку [8]. Стадии предочистки и обработки, обработки и очистки могут проводиться как отдельно друг от друга, так и быть совмещенными в одном аппарате. Под предочисткой понимается частичное выведение из НСВ нефтяной эмульсии или взвешенных веществ (нефтяного шлама). Обработка включает все возможные варианты разрушения бронирующих оболочек, организацию коалесценции нефтяных капель и высвобождение механических примесей из нефтяных капель, т.е. приводит к разрушению внутренней упорядоченности суспензионно-эмульсионной



системы. Стадия доочистки способствует доведению показателей качества очищенной сточной воды до нормативных. Отсутствие какой-либо стадии снижает эффективность установок в целом.

На рис. 3 приведена схема очистки НСВ, реализующая четыре стадии: предочистку, обработку, очистку и доочистку. Для предочистки и обработки установлен перевернутый гидроциклон 1, способствующий интенсификации разрушения бронирующих оболочек и промежуточного слоя грубодисперсной фазы и частичному выведению концентрированных нефтепродуктов и выделившихся газов через верхний штуцер. Из нижнего штуцера 4 гидроциклона 1 сточная вода поступает в отстойник 6 закрытого типа. Стадия очистки протекает в отстойнике 6, снабженном верхними 10 и нижними 11 перегородками.

Первая верхняя перегородка 10 по высоте меньше остальных верхних перегородок. Это способствует организации противотока между опускающимся и поднимающимся потоками воды, что в свою очередь приводит к коалесценции капель нефти. Перегородки предназначены для изменения траектории движения воды вверх и вниз с целью её турбулизации для отделения нефтяного шлама и коалесценции капель нефтепродуктов. Для каждой секции предусмотрен дренаж в виде конического днища 12 с нижним патрубком 9 для удаления взвешенных веществ (нефтяного шлама). На выходе из верхнего бокового штуцера 7 отстойника 6 удаляется нефтяная эмульсия (уловленная нефть), которая рециркулируется на очистку в гидроциклон 1. Из нижнего бокового штуцера 8, приподнятого относительно дна отстойника 6, выводится очищенная сточная вода и подается на доочистку в самопромывной песчаный фильтр 14. Промывные воды песчаного фильтра 14, содержащие нефтепродукты, сбрасываются в гидроциклон 1. Из песчаного фильтра 14 через патрубок 16 выводится очищенная сточная вода с показателями качества по нефтепродуктам и взвешенным веществам, отвечающим требованиям ОСТ 39-225-88.

### Заключение

Предложена схема очистки НСВ для заправки в пласт, включающая перевернутый гидроциклон, отстойник и самопромывной песчаный фильтр. В схеме реализованы четыре стадии: предочистка, обработка, очистка и доочистка. В гидроциклоне протекают стадии предочистки и обработки, в отстойнике – очистка, в песчаном фильтре – доочистка.

*Авторы выражают благодарность руководству месторождения Прибрежное Краснодарского края за предоставленные показатели качества поверхностных, пластовых и очищенных нефтепромысловых сточных вод.*

### Список литературы / References

1. Адельшин А.А., Гришин Б.М., Бикунова М.В., Сафонов М.А. Очистка сточных вод нефтепромыслов с применением высокопроизводительных блочно-модульных установок: монография. Пенза: ПГУАС, 2015. 136 с.

Adelshin A.A., Grishin B.M., Bikunova M.V., Safonov M.A. Wastewater treatment of oil fields with the use of high-performance modular units: monograph. Penza: PGUAS, 2015. 136 p. (in Russian).

2. Закшевская Л.В., Шипигузов Л.М., Рябов В.Г. Нормирование качества нефтепромысловых вод для системы ППД Пашинского и Берегового месторождений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2012. № 14. С. 214–221.

Zakshevskaya L.V., Shipiguzov L.M., Ryabov V.G. Rationing of the quality of oil field waters for the PPD system of the Pashinsky and Beregovoe fields // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology. 2012. № 14. P. 214–221 (in Russian).

3. Гимазова Г.К., Вахитова А.К., Ермеев А.М., Елпидинский А.А. Изучение влияния магнитного поля на процесс обезвоживания нефтяных эмульсий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 8. С. 107–109.

Gimazova G.K., Vakhitova A.K., Ermeev A.M., Elpidinsky A.A. Study of the influence of the magnetic field on the process of dehydration of oil emulsions // Bulletin of the University of Technology. 2015. V. 18. № 8. P. 107–109 (in Russian).

4. Вольцов А.А. Интенсификация процесса расслоения водонефтяных эмульсий путем их магнитно-вибрационной обработки: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005. 120 с.

Voltsov A.A. Intensification of the process of separation of water-oil emulsions by their magnetic-vibration treatment: dis. ... cand. tech. sciences. Ufa, 2005. 120 p. (in Russian).

5. Максимович В.Г., Попова Г.Г., Сахаров Д.И., Руденко Е.Д., Буков Н.Н., Панюшкин В.Т. Электрокоагуляционная очистка образцов сточных вод ЗПВ «Бугундырь» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 10. С. 18–20.

Maksimovich V.G., Popova G.G., Sakharov D.I., Rudenko E.D., Bukov N.N., Panyushkin V.T. Electrocoagulation treatment of sewage formation waters samples of NTA «Bugundyur» // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. 2012. № 10. P. 18–20 (in Russian).

6. Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р. Очистка производственных сточных вод электрофлотацией // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 72–79. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.17.

Nazarov V.D., Nazarov M.V., Khabibullina M.R. Treatment of industrial wastewater by electroflotation // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 2. P. 72–79 (in Russian).

7. Закшевская Л.В. Испытания технологии очистки сточных вод с использованием сепаратора ООО «Новые технологии» в ООО «Лукойл-Пермь» // Инженерная практика. 2017. № 8. [Электронный ресурс]. URL: <https://glavteh.ru/очистка-сточных-вод-сепаратор-кмсрк/> (дата обращения: 23.08.2019).

Zakshevskaya L.V. Tests of wastewater treatment technology using the separator LLC New Technologies in LLC Lukoil-Perm // Inzhenernaya praktika. 2017. № 8. [Electronic resource]. URL: <https://glavteh.ru/очистка-сточных-вод-сепаратор-кмсрк/> (date of access: 23.08.2019). (in Russian).

8. Короткова Т.Г., Заколюкина А.М., Самофал Д.Ю. Схема стадий очистки нефтепромысловых сточных вод // Научные труды КубГТУ: электронный сетевой политехнический журнал. 2019. № 3. С. 33–45. [Электронный ресурс]. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/2527> (дата обращения: 23.08.2019).

Korotkova T.G., Zakolyukina A.M., Samofal D.Yu. Scheme of the stages of oil-field wastewater treatment // Scientific works of the Kuban State Technological University. 2019. № 3. P. 33–45. [Electronic resource]. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/2527> (date of access: 23.08.2019). (in Russian).