

## ВОДООТВЕДЕНИЕ

УДК 628.161.2:546.24, 546.14  
doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.3-12

**Ж. М. Говорова**

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОЙ  
ВОДЫ СЛОЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ХОЗПИТЬЕВОГО  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

UDC 628.161.2:546.24, 546.14  
doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.3-12

**Govorova Zh. M.**

**CONDITIONING TECHNOLOGY FOR UNDERGROUND WATER  
COMPLEX OF WATER FOR DRINKABLE SMALL SETTLEMENTS**

**Аннотация**

**Введение:** обеспечение нормативов питьевой воды по биологически активным и биогенным компонентам подземных вод (бору, бромидам, фтору, аммонию) ряда районов России является актуальной проблемой, для решения которой требуется выбор и обоснование водоочистой технологии.

**Цель исследования:** разработать технологию кондиционирования подземной воды, содержащей железо, бор и бром. **Результаты:** проведены исследования процессов обезжелезивания, обезборивания и дебромирования на подземной воде Чумлякского месторождения. Установлено, что при содержании железа в исходной воде до 2,16 мг/л и ионов аммония до 3,2 мг/л на выходе из биореакторов и фильтров с плавающей загрузкой эффективность очистки по данным показателям составляет 91,2 и 34 %. Последующая обработка обезжелезенной воды на моделях фильтров первой и второй ступени с ионообменной смолой Purolite S-108 и AV-17-8 соответственно позволяет обеспечить нормативы по бору и бромид-

**Abstract**

**Introduction:** The provision of drinking water standards for biologically active and biogenic components of groundwater (boron, bromides, fluorine, ammonium) in a number of regions of Russia is an urgent problem, the solution of which requires the selection and justification of water treatment technology.

**Purpose:** To develop a technology for conditioning groundwater containing iron, boron and bromine. **Results:** Studies of deironing, de-icing and debromination in the underground water of the Chumlyakskoye field were carried out. It was found that with the content of iron in the initial water up to 2.16 mg/l and ammonium ions up to 3.2 mg/l at the outlet from the bioreactors and floating load filters, the purification efficiency according to these indices is 91.2 and 34%. Subsequent treatment of de-iron water on the models of filters of the first and second stages with the ion exchange resin Purolite S-108 and AV-17-8 accordingly allows to provide the standards for boron and bromides at their concentration in



дам при их концентрации в подземной воде 1,8 и 0,43 мг/л. **Практическая значимость:** разработанная технология может быть использована в практике подготовки воды для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения при условии проведения в каждом конкретном случае предпроектных испытаний.

**Ключевые слова:** подземные воды, исследование, технология очистки воды, обезжелезивание, биореактор, обезборивание, дебормирование.

### Наши авторы

#### Говорова Жанна Михайловна

Доктор технических наук,  
профессор кафедры водоснабжения  
и водоотведения  
Национального исследовательского  
Московского государственного  
строительного университета  
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26  
Тел.: 8 (499) 183-36-29  
Эл. адрес: fonsvit@bk.ru

groundwater of 1.8 and 0.43 mg/l. **Practical relevance:** The developed technology can be used in the practice of preparing water for the purposes of domestic and drinking water supply, subject to pre-project testing in each particular case.

**Keywords:** Groundwater, Research, Technology, Water Treatment, Removal of Iron, Bioreactor, Removing of Boron, Debromination.

### Authors

#### Govorova Zhanna Mikhailovna

Dr. Sc., Tech., Professor, Department of Water  
Supply and Water Removal,  
National Research University Moscow State  
University of Civil Engineering  
Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337,  
Russian Federation  
Tel.: +7 (499) 183-36-29  
E-mail: fonsvit@bk.ru

### Введение

Систематизация и анализ многолетних данных по категориям загрязнений подземных вод России [1] показали, что в районах Южного Урала и Западной Сибири, наряду с необходимостью удаления из вод широко распространенных железа и марганца, требуется обеспечить санитарно-гигиенические нормативы питьевой воды по отношению к таким биологически активным и биогенным компонентам как бор, бром, фтор и аммоний.

В тех случаях, когда вблизи потребителей отсутствуют альтернативные водоисточники, обеспечение объекта водоснабжения водой, из которой необходимо предварительно удалить указанные загрязнения, представляет собой весьма сложную, как в технологическом, так и в технико-экономическом плане, задачу.

### Принципы разработки новой технологии очистки воды

Источником питьевого водоснабжения г. Щучье, поселков Чумляк и Плановый Курганской области являются подземные воды Чумлякского месторождения, относящиеся к мягким водам гидрокарбонатно-хлоридного класса натриевой группы.

В табл. 1 представлены результаты выполненного специалистами НИИ ВОДГЕО анализа воды (скважина № 11), которые свидетельствуют о несоот-

ветствии ее качества требованиям [2] по железу общему, аммонии, бору, бромидам, фторидам и мутности. Расчеты стабильности воды подтверждают ее агрессивность по индексу Ланжелье  $(-0,74(-1,14)^{30})$  и Ризнера  $(8,83-9,43^3 6-7)$ .

**Таблица 1.**

**Table 1.**

Физико-химический состав подземной воды

Physico-chemical composition of underground water

Показатель	Единица измерения	Значение	Нормативы СанПиН 2.1.4.1074–01
Температура	°С	8–5	–
Водородный показатель	ед. рН	7,35	6.0–9.0
Мутность	мг/л	1,4–1,8	1,5
Цветность	град.	16–18	20
Запах при 20°С	балл	1	2
Окисляемость перманганатная	мг/л	2,63–4,0	5
Аммоний	мг/л	3,2–3,6	2,6
Сухой остаток	мг/л	949	1000 (1500)
Железо общее	мг/л	1,1–2,32	0,3
Щелочность общая	ммоль/л	6,75–6,8	н/норм.
Жесткость общая	°Ж	1,9–2	7,0
Хлориды	мг/л	154,2–164,8	350
Сульфаты	мг/л	185,8–216	500
Гидрокарбонаты	мг/л	411,8–414,8	450
Фториды	мг/л	0,35–0,4	0,7–1,5
Бор (общий)	мг/л	1,6–1,8	0,5
Бромиды	мг/л	0,43–0,5	0,2
Диоксид углерода свободный	мг/л	18,4–19,8	н/норм.

Имеющиеся данные о технологиях и методах извлечения указанных ингредиентов из подземных вод касаются в основном физико-химических и биологических закономерностей удаления отдельных компонентов без их технико-экономической оценки и учета производительности станции [3].

Для очистки воды от соединений бора и брома применяют различные методы (соосаждение на гидроксидах металлов в виде труднорастворимых соединений, сорбцию на селективных по бору и бромид-ионам ионитах, обратный осмос и др.), каждый из которых имеет ограниченную эффективную область применения и не лишен недостатков [4–8].

В основу предлагаемой для конкретного водоисточника технологии извлечения из воды бора и брома были положены результаты исследований сотрудников лаборатории водного хозяйства НИИ ВОДГЕО [4], базирующиеся на применении макропористых анионных смол Purolite S-108 и Amberlite IRA-743 с селективными по бору ионнообменными группами и использованием для деборирования силь-



ноосновного анионита АВ-17-8 в  $Cl^-$  ионной форме с предварительным окислением бромид-ионов или без него.

При извлечении указанных в табл. 1 группы ингредиентов важным является обеспечение глубокого предварительного удаления из воды тех из них, которые способны экранировать и существенно снижать полную обменную емкость дорогостоящих селективных ионообменных смол, целенаправленно действующих на извлечение бора и бромидов. В данном случае к таким ингредиентам относятся железо общее и аммоний. В отличие от схем, предусматривающих извлечение только бора или бромидов, необходим тщательный подход к обоснованию объемов смешения глубоко очищенной воды по отдельным, указанным выше ингредиентам с исходной водой в силу специфики сорбционного воздействия ионообменных смол, а также обеспечения надежности их работы до момента достижения пороговой концентрации.

При последовательном и поэтапном извлечении азота аммонийного, железа, бора и бромидов целесообразно рассмотреть возможность сокращения числа промежуточных резервуаров-смесителей; повторное использование промывных вод после одних сооружений для других ступеней очистки; использование ступени глубокой сорбционной очистки лишь на заключительной стадии с целью предотвращения проскока нежелательных вторично образующихся компонентов.

Увеличению концентрации извлекаемых ингредиентов и производительности станции, неизбежно приводящие к значительному возрастанию капитальных и эксплуатационных затрат, вызывают необходимость обоснованно решать вопросы очередности отдельных блоков (ступеней) очистки, перенося решение комплексной задачи по извлечению некоторых ингредиентов на уровень локальной доочистки.

Так, например, фторирование очищенной подземной воды, по согласованию с местными органами управления здравоохранением, может быть заменено восполнением необходимого количества фтора пищевыми добавками. Некоторое предрасположение воды к коррозионной активности при условии недостаточного удаления углекислоты после его частичной отдувки на первой ступени, с учетом того, что водораспределительная сеть проектируется из устойчивых по отношению к коррозии полиэтиленовых труб, можно не принимать во внимание. Это дает основание исключить из общей схемы водоподготовки блок стабилизационной обработки и т. д.

### **Технологическая схема кондиционирования подземной воды**

Исходя из выше перечисленных принципов разработки общей технологии кондиционирования воды сложного состава, специалистами лаборатории очистки природных вод НИИ ВОДГЕО и ООО НТЦ «ФОНСВИТ» под руководством заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Журбы М. Г. была предложена технологическая схема кондиционирования подземной воды [1].

Подземная вода от сборного водовода, транспортирующего воду от рабочих скважин, подается в биореакторы, затем в фильтры обезжелезивания с гранули-

рованной пенополистирольной загрузкой ФПЗ-1. Обезжелезенная вода поступает далее самотеком в промежуточный резервуар, из которого насосом подается последовательно на I ступень анионирования (напорные фильтры обезборивания с ионообменной смолой Purolite S-108 и Amberlite IRA-743), затем — II ступень анионирования (напорные фильтры дебромирования с ионообменной смолой АВ-17-8), где вода освобождается от соединений бора, брома и частично от силикатов. Указанные фильтры имеют обводные линии с очищенной от железа водой, что позволяет регулировать в процессе их эксплуатации соотношение воды с глубоким и частичным удалением из нее бора и брома. Кроме того, они оборудованы системой регенерации анионообменных смол, включающей баки рабочих растворов соляной кислоты, гидроксида натрия и хлористого натрия и насосы-дозаторы с соответствующей обвязкой технологическими трубопроводами, контрольно-измерительной и запорной арматурой. Взрыхление загрузок ионообменных фильтров предусматривается обезжелезенной водой, а их отмывка от регенерационных растворов — очищенной водой, забираемой из резервуара чистой воды. Глубокая очистка воды осуществляется на напорных сорбционных фильтрах, загруженных активированным углем марки АГ-3.

В трубопроводы, отводящие очищенную воду в резервуар чистой воды для фторирования и стабилизационной обработки воды, при обосновании могут подаваться растворы фтористого натрия и кальцинированной соды. Обеззараживание воды осуществляется раствором гипохлорита натрия.

Промывные воды после биореакторов, фильтров обезжелезивания и сорбции, а также вода после взрыхления загрузок фильтров I и II ступеней анионирования отводятся на сооружение для обработки промывных вод, отстаиваются и после их осветления возвращаются в голову сооружений. Накапливаемый в отстойниках осадок периодически отводится на сооружение по обработке осадка.

Отработанные регенерационные растворы, содержащие бор и бром, сбрасываются в резервуары-накопители, откуда периодически в виде влажных осадков химически стойкими насосами перекачиваются на установки для выпаривания и кристаллизации с выделением ценных бор-бромсодержащих компонентов.

### **Экспериментальный стенд для моделирования процессов очистки воды**

Для получения исходных данных по технологическим параметрам и режимам работы сооружений на действующем водозаборе в 2000–2005 г. были проведены исследования процессов обезжелезивания, обезборивания, дебромирования и сорбции загрязнений из подземной воды. С этой целью был смонтирован экспериментальный стенд, позволявший моделировать основные процессы очистки воды, который включал:

- модель фильтра обезжелезивания диаметром 100 мм и высотой 3,5 м, загруженного неоднородной плавающей загрузкой из гранул пенополистирола марки ПСВ крупностью 1,5–2,2 мм и толщиной слоя 1,45 м с отводом фильтрата через среднюю дренажную систему (ФПЗ-4);



▪ модели ионообменных фильтров первой и второй ступени диаметром 15 и 30 мм и высотой 1,2 м соответственно с высокоселективной анионнообменной смолой Purolite S-108 и АВ-17-8. Диаметр зерен смол составлял соответственно 0,1–0,3 и 1,25 мм, высота слоя загрузки не превышала 0,7 м;

▪ модель фильтра сорбционной доочистки диаметром 30 мм и высотой 1,2 м с активированным углем марки АГ-3 с крупностью гранул 0,5–1 мм и высотой слоя 0,8 м.

Исходная вода от напорного водовода подавалась в верхнюю часть фильтра, изливалась с высоты 0,5 м, фильтровалась через неоднородную загрузку фильтра в направлении сверху вниз и затем последовательно профильтровывалась через слои смол Purolite S-108, АВ-17-8 и активированного угля АГ-3. Скорости фильтрования назначались на модели фильтра обезжелезивания 7–8 м/ч, на ионообменных фильтрах соответственно 5–6 и 6–8 м/ч и сорбционном фильтре – 6–7 м/ч.

Продолжительность полезной работы фильтра обезжелезивания устанавливалась по достижению заданной величины предельных потерь напора или концентрации железа общего в фильтрате более 0,3 мг/л, исчерпанию обменной емкости (по бору (В)  $\geq 0,5$  мг/л, бромю (Br)  $\geq 0,2$  мг/л).

Продолжительность защитного действия ионообменных смол и сорбента уточнялась расчетным путем по кинетике и динамике обменных процессов по высоте их слоя.

Эффективность промывки фильтра ФПЗ-4 оценивалась по кривым выхода задержанного осадка из загрузки во времени и оценке прироста начальных потерь напора.

Условия проведения опытов позволяли изучить два варианта исполнения блока обезжелезивания воды:

– с использованием фильтра с плавающей пенополистирольной загрузкой ФПЗ-4 [9];

– с подключением перед фильтром биореактора с гранулировано-волоконистой загрузкой [10, 11].

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показал, что при средней скорости фильтрования 7 м/ч через мелкозернистую загрузку ФПЗ-4 (первый вариант), продолжительность ее зарядки с одновременным образованием каталитической пленки на развитой поверхности пенополистирола составила не менее 24 часов с момента начала фильтроцикла. При этом содержание железа общего в фильтрате не превышало 0,14 мг/л, при исходной концентрации в подземной воде 2,16 мг/л и соотношении  $Fe^{2+}/Fe_{\text{общ}}$  – 0,81. Наблюдалось также снижение в фильтрате аммония, фосфатов и бора в 1,1–2,3 раза и через 48 часов работы модели фильтра их концентрация составляла соответственно 2,6; 0,46 и 1,6 мг/л.

Продолжительность фильтроцикла назначалась по условиям удовлетворительной промывки загрузки 72 часа. Суммарные потери напора за этот период не превысили 0,8 м при начальных  $\sim 0,3$  м вод. ст.

Температура воды в опытах не превышала 16 °С.

Таблица 2.

Table 2.

Эффективность очистки воды

The efficiency of water purification

Показатель	Значение				
	Подземная вода	Очищенная вода через t часов работы			
		5	12,5	24	48
Щелочность, ммоль/л	6,2	5,9	6,8	6,2	6,3
Гидрокарбонаты, мг/л	378,2	359,9	414,8	378,2	384,3
Хлориды, мг/л	153,4	153,4	–	–	–
Сульфаты, мг/л	187,2	134,4	–	–	–
Фосфаты, мг/л	1,04	0,8	0,5	0,58	0,46
Фториды, мг/л	0,32	0,32	н/опр.	0,32	0,26
Аммоний, мг/л	3,2	2,8	2,8	н/опр.	2,6
Железо Fe <sub>общ</sub> (Fe <sup>2+</sup> ), мг/л	2,16 (1,76)	1,26 (1,07)	1,24 (1,05)	0,14 (0)	0,19 (0)
Бор, мг/л	1,8	1,8	н/опр.	н/опр.	1,6
Бром, мг/л	0,43	0,43	н/опр.	н/опр.	0,40

Промывка загрузки фильтра осуществлялась нисходящим потоком исходной воды. При интенсивности промывки ~12 л/см<sup>2</sup> относительное расширение загрузки составило 40%. Концентрация железа общего в промывной воде уменьшилась с 195 мг/л (через 0,5 минут от начала промывки) до 40,5 мг/л (через 2,5 минуты), а затем до 12 мг/л (через 4,5 минуты с начала промывки). Анализ характера кривых выноса задержанного осадка гидрооксида железа в толще загрузки показал, что продолжительность относительно эффективной промывки составляет не менее 5–6 минут. Однако постоянная промывка фильтрующей загрузки исходной водой, как это предусмотрено в конструкции фильтра ФПЗ-4, со временем может приводить к накоплению остаточных загрязнений в слое плавающей загрузки, приросту потерь напора и сокращению межпромывочного периода. Поэтому для повышения надежности технологии водоподготовки вместо ФПЗ-4 был принят фильтр ФПЗ-1 с восходящим фильтрованием и промывкой очищенной водой, накопленной в над-фильтровом пространстве.

Включение в технологическую схему перед фильтром биореактора с гранулировано-волоконистой загрузкой позволило сократить продолжительность зарядки загрузок биореактора и фильтра до 6 часов. При этом в биореакторе происходила отдувка свободной углекислоты, наблюдалось снижение концентрации железа общего в 1,8–2,3 раза при начальной концентрации в подземной воде до 2,07 мг/л, и снижение аммония на 34 %.

После блока обезжелезивания вода поступала на последовательно работающие модели ионообменных фильтров первой и второй ступени с целью ее обезжелезивания и дебромирования. Качество очищенной воды после фильтров представлено в табл. 3.



**Таблица 3.**  
Качество очищенной воды

**Table 3.**  
The quality of treated water

Объем фильтрата, л	Показатели					
	рН	Щелочность, ммоль/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Бор, мг/л	Бром, мг/л
I ступень (Purolite S-108)						
0	7,0	6,3	153,3	134,4	1,8	0,43
0,1	9,0	11,7	150,8	н/опр.	< 0,05	0,34
1,5	н/опр.	9,2	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.
4	н/опр.	7,5	н/опр.	73,1	н/опр.	н/опр.
5,5	7,32	6,6	н/опр.	н/опр.	< 0,05	0,39
8,5	7,35	6,8	202,5	н/опр.	< 0,05	0,36
10	н/опр.	6,8	202,5	115,2	н/опр.	н/опр.
11,5	7,0	6,2	202,5	н/опр.	< 0,05	0,40
16	н/опр.	6,2	202,5	н/опр.	< 0,05	0,41
21,5	н/опр.	5,3	202,5	134,4	< 0,05	0,38
II ступень (AB-17-8)						
1,5	–	0,5	541,3	–	< 0,05	< 0,02
3	–	1,7	783,8	–	< 0,05	< 0,02
4,5	–	3,5	449	–	< 0,05	< 0,02
6	–	5,8	418	–	< 0,05	< 0,02
7,5	–	5,9	391,9	–	< 0,05	< 0,02
9	–	6,6	421,3	–	< 0,05	< 0,02
10	–	6,3	н/д	–	< 0,05	< 0,02

Полученные результаты подтвердили достаточно высокую селективность анионита Purolite S-108 по бору (оксоборатам). Проскок соединений бора в фильтрат начинался при 430–450 относительных объемах, а при 820–840 объемах содержание оксоборатов выходило на их исходную концентрацию. Усредненная концентрация борат-ионов в суммарном фильтрате составила < 0,5 мг/л при 840 относительных объемах. Концентрации анионов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> не превышали на выходе допустимые нормы в питьевой воде. Содержание бромидов при фильтрации через смолу Purolite S-108 практически не изменялось вследствие малого их исходного количества.

После обработки воды на второй ступени анионирования (дебромирование) концентрация бромидов не превышала 0,02 мг/л. Сульфаты в обрабатываемой воде отсутствовали, а содержание хлоридов при выходе из загрузки со смолой проходило через максимум, в соответствии с закономерностями ионного обмена на высокоосновных анионитах типа AB-17-8.

Доочистка на сорбционной загрузке подземной воды, предварительно очищенной от соединений железа, бора и бромидов показала, что окисляемость фильтрата дополнительно снижалась на 30% (с 2,63 до 1,8 мг/л) и улучшались

органолептические показатели очищенной воды. Было установлено, что использование АГ-3 как самостоятельного сорбента для очистки воды от бора и брома нецелесообразно, однако в составе технологической схемы водоподготовки его использование может быть обосновано возможным проскоком окисленного  $Vg_2$  после смолы АВ-17-8, деструкцией полимерного ионообменного материала с выделением исходных мономеров или их «осколков» органического происхождения, обладающих санитарно-токсикологическим признаком вредности и присутствием в исходной воде антропогенных загрязнений.

### Заключение

Предложена, обоснована и испытана в условиях действующего водозабора комплексная технология обезжелезивания, обезборивания, дебромирования и обеззараживания подземных вод, с использованием новых конструкций биореакторов и фильтров с плавающей загрузкой и анионообменных смол зарубежного и отечественного производства.

Разработан проект станции кондиционирования подземной воды производительностью 7,0 тыс.м<sup>3</sup>/сут для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Щучье.

### Литература

1. Журба, М. Г., Говорова, Ж. М. (2010), *Водоснабжение. Том 2. Улучшение качества воды*. М.: Издательство АСВ, 544 с.
2. *Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы*. (2002). М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, с. 103.
3. Говорова, Ж. М., Журба, М. Г. (2012), *Обоснование водоочистных технологий и их инвестирования*. М., 176 с.
4. Ивлева, Г. А., Козина, А. К., Родина, И. С., Меркулова, Л. И., Колядкина, Г. С., Кандыбина, Г. М. (2004), «Очистка природных вод от биологически активных компонентов – бора и брома», *Очистка и кондиционирование природных вод: сб.тр. НИИ ВОДГЕО*. № 5. С. 26–32.
5. Алексеев, Л. С., Аль-Амри, З., Ивлева, Г. А. (2012), «Очистка подземных вод питьевого назначения от бора», *С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование*, № 3. С. 20–22.
6. Тарасова, Н. П., Иванова, С. А., Наумов, В. Н., Кузнецов, В. А., Зайцев, В. А. (2013), «Очистка подземных вод от соединений бора», *Экология промышленного производства*, № 1. С. 29–32.
7. Ивлева, Г. А., Алексеев, Л. С. (2007), «Барьерные функции технологий подготовки подземных вод для хозяйственно-питьевых целей», *Водоснабжение и санитарная техника*, № 9., ч. 2. С. 33–38.
8. Первов, А. Г., Андрианов, А. П., Юрчевский, Е. Б., Спицов, Д. В., Ефремов, Р. В., Рудакова, Л. В. (2009), «Водоочистные установки в контейнерном исполнении для водоснабжения вахтовых поселков», *Водоснабжение и санитарная техника*, №7. С. 40–46.
9. Журба, М. Г. (2011), *Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой*. М., 536 с.
10. Журба, М. Г., Говорова, Ж. М., Квартенко, А. Н., Говоров, О. Б. (2006), «Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод», *Водоснабжение и санитарная техника*, № 9, ч. 2. С. 17–23.
11. Журба, М. Г., Говоров, О. Б., Говорова, Ж. М., Квартенко, А. Н. (2012), «Биореакторы-фильтры с плавающей загрузкой в технологиях кондиционирования подземных вод», *Сантехника*, №3. С. 50–54.

### References

1. Zhurba, M. G., Govorova, Zh. M. (2010), *Vodosnabzhenie. Tom 2. Uluchshenie kachestva vody* [Water Supply. Volume 2. Improving the Quality of Water], Izdatel'stvo ASV. M., p. 544 (in Russian).



2. Pit'evaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vosnabzhenija. Kontrol' kachestva. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy [Drinking Water. Hygienic Requirements for Water Quality of Centralized Drinking Water Supply Systems. Quality Control. Sanitary-Epidemiological rules and Regulations]. (2012), Federal'nyj centr gossanjepidnadzora Minzdrava Rossii. M., p. 103 (in Russian).
3. Govorova, Zh. M., Zhurba, M. G. (2012), *Obosnovanie vodoочистnyh tehnologij i ih investirovanija: Nauchnoe izdanie* [Justification of Water Treatment Technologies and their Investment.]. M., p. 176 (in Russian).
4. Ivleva, G. A., Kozina, A. K., Rodina, I. S., Merkulova, L. I., Koljadkina, G. S., Kandybina, G. M. (2004), «Purification of Natural Waters from Biologically Active Components - Boron and Bromine», *Ochistka i kondicionirovanie prirodnyh vod: sb.tr. NII VODGEO*, no. 5, pp. 26–32 (in Russian).
5. Alekseev, L. S., Al'-Amri, Z., Ivleva, G. A. (2012), «Purification of Groundwater for Drinking Purposes from Boron», *C.O.K. Plumbing, Heating and Air Conditioning*, no. 3, pp. 20–22 (in Russian).
6. Tarasova, N. P., Ivanova, S. A., Naumov, V. N., Kuznecov, V. A., Zajcev, V. A. (2013), «The Treatment of Groundwater from Boron Compounds», *Industrial ecology*, no. 1, pp. 29–32 (in Russian).
7. Ivleva, G. A., Alekseev, L. S. (2007), «Barrier Functions of Ground Water Treatment technologies for Domestic Purposes», *Water supply and sanitary techniques*, no. 9, part 2, pp. 33–38 (in Russian).
8. Pervov, A. G., Andrianov, A. P., Jurchevskij, E. B., Spicov, D. V., Efremov, R. V., Rudakova, L. V. (2009), «Container Mounted Water Treatment Plants for Water Supply of Small Communities», *Water supply and sanitary techniques*, no. 7, pp. 40–46 (in Russian).
9. Zhurba, M. G. (2011), *Vodoочистnye fil'try s plavayushchei zagruzkoj* [Water treatment filters with moving bed. Scientific publication]. M., p. 536 (in Russian).
10. Zhurba, M. G., Govorova, Zh. M., Kvarthenko, A. N., Govorov, O. B. (2006), «Biological Deferrization and Demanganization of Ground Water», *Water supply and sanitarytechniques*, no. 9, part 2, pp. 17–23 (in Russian).
11. Zhurba, M. G., Govorov, O. B., Govorova, Zh. M., Kvarthenko, A. N. (2012), «Moving Bed Bioreactor-Filters in Groundwater Conditioning Technology», *Santecfinika*, no. 3, pp. 50–54 (in Russian).