



Научная статья

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК66.081.6+628.165

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.025

 EDN: FVUARK

## ОБЕССОЛИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лариса Федоровна Комарова <sup>1</sup>, Владимир Александрович Сомин <sup>2</sup>,  
Дмитрий Алексеевич Лапшин <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

<sup>2</sup> vladimir\_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

<sup>3</sup> enlang@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается получение воды питьевого качества с использованием мембранных методов. Приводится анализ мембранных методов обессоливания подземных и поверхностных природных вод с использованием нанофильтрации и обратного осмоса. Рассматриваются пути оптимизации мембранного разделения водных растворов, в том числе с использованием нанофильтрации. Охарактеризованы мембраны и мембранные аппараты для указанных целей. Приводится опыт эксплуатации мембранных установок в различных природных условиях. Разработана технологическая схема водоподготовки с использованием нанофильтрационной установки для одного из населенных пунктов Кулундинского района Алтайского края. Схема предполагает предварительное обезжелезивание кислородом воздуха в накопительной азрируемой емкости, фильтрование через фильтр с зернистой загрузкой для удаления гидроксида железа. В дальнейшем вода нагревается в кожухотрубчатом теплообменнике 8 до 25 °С для снижения вязкости, от которой напрямую зависит проницаемость мембраны. После этого дозируется антискалант для предотвращения деструкции мембраны и подается на установку нанофильтрации. Нанофильтрация выбрана из-за невысокой концентрации примесей и соответственно малого осмотического давления исходного раствора, что позволяет снизить потребность в энергоресурсах. Часть концентрата циркулирует в мембранном модуле, позволяя увеличить выход пермеата, другая часть возвращается в недра. На заключительном этапе осуществляется обеззараживание воды ультрафиолетом, после чего она может подаваться в сеть для снабжения потребителей. Предложенная схема позволит очищать воду до нормативов СанПиН 1.2.3685-21 и обеспечить население питьевой водой с требуемым расходом 1500 м<sup>3</sup>/сут.

**Ключевые слова:** природные воды Алтайского края, методы обессоливания минерализованных вод, мембранные методы, схемы водоподготовки.

**Для цитирования:** Комарова Л. Ф., Сомин В. А., Лапшин Д. А. Обессоливание подземных вод с использованием мембранных технологий // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 200–206. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.025. EDN: <https://elibrary.ru/FVUARK>.

Original article

## DESALINATION OF GROUNDWATER USING MEMBRANE TECHNOLOGIES

Larisa F. Komarova <sup>1</sup>, Vladimir A. Somin <sup>2</sup>, Dmitry A. Lapshin <sup>3</sup><sup>1,2,3</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia<sup>1</sup> htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729><sup>2</sup> vladimir\_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174><sup>3</sup> enlang@mail.ru

**Abstract.** The paper considers the production of drinking-quality water using membran methods. The analysis of membrane methods of desalination of underground and surface natural waters using nanofiltration and reverse osmosis is given. The ways of optimizing the membrane separation of aqueous solutions, including the use of nanofiltration, are considered. Membranes and membrane apparatuses for the specified purposes are characterized. The experience of operating membrane installations in various natural conditions is given. A technological scheme of water treatment using a nanofiltration plant has been developed for one of the settlements of the Kulundinsky district of the Altai Territory. The scheme involves preliminary de-ironing with oxygen of the air in a storage aerated tank, filtering through a filter with a granular loading to remove iron hydroxide. In the future, the water is heated in a shell-and-tube heat exchanger 8 to 25 °C to reduce the viscosity, which directly affects the permeability of the membrane. After that, an antiscalant is then dosed to prevent the destruction of the membrane and is given to the nanofiltration unit. Nanofiltration was chosen because of the low concentration of impurities and, accordingly, the low osmotic pressure of the initial solution, which reduces the need for energy resources. Part of the concentrate circulates in the membrane module, allowing to increase the permeate yield, the other part returns to the bowels. At the final stage, the water is disinfected with ultraviolet light, after which it can be supplied to the network to supply consumers. The proposed scheme will allow to purify water up to the standards of SanPiN 1.2.3685-21 and provide the population with drinking water with the required flow rate of 1500 m<sup>3</sup>/day.

**Keywords:** natural waters of the Altai Territory, methods of desalination of mineralized waters, membrane methods, water treatment schemes.

**For citation:** Komarova, L.F., Somin, V.A. & Lapshin, D.A. (2023). Desalination of groundwater using membrane technologies. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 200-206. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.025. EDN: <https://elibrary.ru/FVUARK>.

### ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы являются неотъемлемой частью жизнедеятельности человека. Для водоснабжения используются поверхностные и подземные источники, которые должны быть доведены до категории пресных вод, т.е. их минерализация не должна быть более 1 г/л.

В степных районах Алтайского края существует проблема качественного водоснабжения населения. В западной части края отсутствуют реки, но имеется множество соленых озер. Поверхностные воды характеризуются изменчивой минерализацией (сульфатное и хлоридное засоление). Вблизи озер залегают грунтовые воды на глубине от 0,5–1,0 м до 10,0–15,0 м при приближении к водоразделам [1].

Источником хозяйственного водоснабжения рассматриваемого региона являются

подземные воды, которые характеризуются как надежно защищенные от загрязнения и обеспеченные ресурсами [2]. Однако, оценивая их качество, можно отметить, что по ряду показателей, прежде всего минерализации до 2–5 г/л, они не соответствуют требованиям к воде для питьевых целей и орошения [3].

Такие воды требуют обессоливания, в качестве которого могут быть использованы различные методы: ионный обмен, дистилляция, электродиализ, мембранные процессы. Но для водоподготовки применение того или иного метода может ограничиваться его целесообразностью. Наиболее перспективными являются мембранные, отличающиеся универсальностью, низкими эксплуатационными затратами и простотой конструкции аппаратов [4].

Мембранные методы представляют собой процесс разделения растворов на полу-

проницаемой мембране, представляющей собой селективно проницаемый барьер, задерживающий примеси определенных размеров различной природы. Движущей силой мембранного процесса является разность рабочего давления над исходным раствором и его осмотического давления.

Из мембранных методов опреснения природных вод используются нанофильтрация (НФ) и обратный осмос (ОО), которыми удаляют из воды растворенные соли с размером частиц от 0,01 до 0,0001 мкм. Оба баромембранные процесса близки по механизму разделения, схеме организации, типам мембран и применяемому оборудованию. Обратный осмос осуществляется при высоких входных давлениях (до 8–15 МПа) для опреснения высококонцентрированных, например, морских вод. Низконапорные энергосберегающие процессы обессоливания воды с рабочим давлением от 0,3 до 2 МПа (нанофильтрация) стали возможными с появлением новых типов композитных мембран [4].

Эффективность процессов ОО и НФ в значительной степени определяется свойствами применяемых мембран. Современные обратноосмотические и нанофильтрационные мембраны являются анизотропными на основе ацетатов целлюлозы или полиамида, либо композитными с разделительным слоем из полиамида, нанесенным на подложку из полисульфона.

Оптимизация баромембранного разделения заключается в рециркуляции одного из мембранных потоков (чаще концентрата); применении каскадных схем, где модули объединяются общими коллекторами по исходной воде, пермеату и концентрату (каскад), либо только общим по пермеату (ступень). Снижение явления концентрационной поляризации может быть достигнуто за счет использования антискалантов [5].

При эксплуатации подземных источников в процессе водоподготовки мембранными методами возникает проблема сброса концентрата, которая заключается в обратной закачке минерализованных вод в недра. Она может быть осуществлена путем закачки концентрата на отделенный от добыточного водоносный горизонт с некондиционными подземными водами, возвратом концентрата в скважины более глубокого водоносного горизонта с худшим качеством подземных вод, либо возвратом концентрата в тот же горизонт, из которого производилась добыча подземных вод, но на некотором удалении от добычных скважин [6].

Имеется много примеров водоподготовки с использованием нанофильтрации. Например, для водоснабжения котельной и получения воды на хозяйственные нужды из артезианской скважины в г. Владивостоке требовалось снизить содержание в воде железа, кремния, марганца, избавиться от мутности, умягчить и дезинфицировать воду. Для этого была предложена схема, включающая ряд механических, химических и физико-химических методов, в том числе нанофильтрацию [7].

Первым этапом водоподготовки является фильтрация на сетчатом фильтре ФС, где удаляются частицы размером более 400 мкм. Для окисления растворенных в воде железа и марганца в воду компрессором нагнетается воздух, вода предварительно подщелачивается гидроксидом натрия до  $\text{pH} = 8,3\text{--}8,5$  с целью создания условий для перевода вышеуказанных ионов металлов в нерастворимое состояние. Обезжелезивание и деманганация происходит на фильтрах ФОД 1 и ФОД 2, после чего вода обеззараживается на ультрафиолетовом стерилизаторе УФЛ и проходит барьерные фильтры тонкой механической очистки. Перед подачей воды на мембранный нанофильтр в нее дозируется антискалант с целью уменьшения концентрационной поляризации на поверхности мембраны. Используется композитная полиамидная мембрана в элементе рулонного типа XLE-440. Рабочее давление процесса 0,7 МПа при максимальном содержании солей до 1000 мг/л и рабочей температуре от 5 °С до 45 °С [7].

В предложенном технологическом решении мембранный процесс реализован в виде трехступенчатой каскадной схемы [7]. Концентрат первой ступени является питающим потоком для второй, концентрат которой, в свою очередь, для третьей. После третьей ступени часть концентрата отправляется на сброс, другая – циркулирует в контуре для поддержания оптимальных гидродинамических условий потока. Фильтрат каждой ступени объединяется в один поток и направляется в накопительный бак. Применение разработанной схемы водоочистки на скважине в г. Владивостоке позволило снизить содержание примесей до требуемых показателей.

Аналогичная схема очистки подземной воды предложена в городском округе Армянска на Крымском полуострове [8].

Исходная вода подается из артезианских скважин Исходнинского водозабора и отличается высокой жесткостью и минерализацией. Перед поступлением воды на обратноосмо-

тическую установку она подогревается с целью уменьшения вязкости и снижения сопротивления при фильтровании через мембрану; концентрат направляется в глубоководный рассеивающий выпуск в Черное море.

Наночистка используется также в водоподготовке подземных источников Московской области [9]. Водные ресурсы данных источников характеризуются повышенным содержанием железа, ионов жесткости, фторид-ионов, ионов аммония, нитратов, лития, стронция, мышьяка и бора. Первоначально для обработки воды был предложен обратный осмос. Однако смешение потоков пермеата и исходной воды, очищенной от механических примесей, и привело к обеспечению только половины выбранной производительности и снижению концентрации примесей. Последнее позволило применить вместо обратного осмоса наночистку. Наночисточные установки по сравнению с обратноосмотическими отличаются более высокой надежностью в работе, меньшим потреблением электроэнергии из-за более низкого рабочего давления, малыми годовыми затратами по замене мембран [9].

Предложенная технологическая схема отличается использованием второй ступени наночистки для обработки концентрата, что приводит к замедлению процесса осадкообразования на этой ступени. Пермеат второй ступени по качеству приближается к исходной воде и может быть возвращен на вход в установку.

пени по качеству приближается к исходной воде и может быть возвращен на вход в установку.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Кулундинский район Алтайского края характеризуется отсутствием пресных поверхностных источников. Поэтому для обеспечения населения питьевой водой приходится использовать подземные источники. Однако вода из них не соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Нормативы по железу превышены в 8 раз, по сухому остатку – в 1,2 раза.

Для опреснения указанных вод разработана блок-схема водоподготовки для села Кучук Кулундинского района, приведенная на рисунке 1.

Вода из скважины накапливается в емкости 1, далее фильтруется на фильтре с зернистой загрузкой 2. Профильтрованная вода нагревается в теплообменнике 4 и направляется на обессоливание в наночисточную установку 6. Пермеат накапливается в емкости 7, туда же добавляется фильтр с установки 2 и гипохлорит натрия из емкости 8 для предварительного обеззараживания. Окончательное обеззараживание очищенной воды происходит ультрафиолетом, вода питьевого качества накапливается в емкости 10.

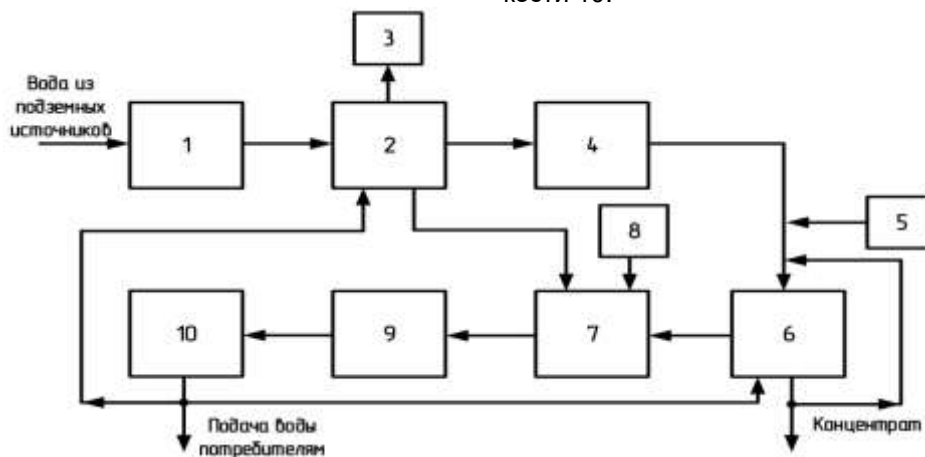


Рисунок 1 – Предлагаемая блок-схема водоподготовки:

1 – накопление и аэрация исходной воды; 2 – фильтрование на зернистой загрузке; 3 – накопление в емкости промывной воды; 4 – нагрев в теплообменнике; 5 – приготовление антискаланта; 6 – умягчение на наночисточной установке; 7 – накопление и разбавление фильтрата; 8 – дозирование гипохлорита натрия; 9 – обеззараживание ультрафиолетом; 10 – накопление воды питьевого качества

Figure 1 - The proposed block diagram of water treatment:

1 - accumulation and aeration of the source water; 2 - filtration on granular loading; 3 - accumulation in the tank of washing water; 4 - heating in the heat exchanger; 5 - preparation of antiscalant; 6 - softening on the nanofiltration plant; 7 - accumulation and dilution of filtrate; 8 - dosing of sodium hypochlorite; 9 - disinfection with ultraviolet light; 10 - accumulation of drinking water

На основании разработанной блок-схемы предложена принципиальная схема обессоливания подземных вод с использованием нанофильтрации (рисунок 2).

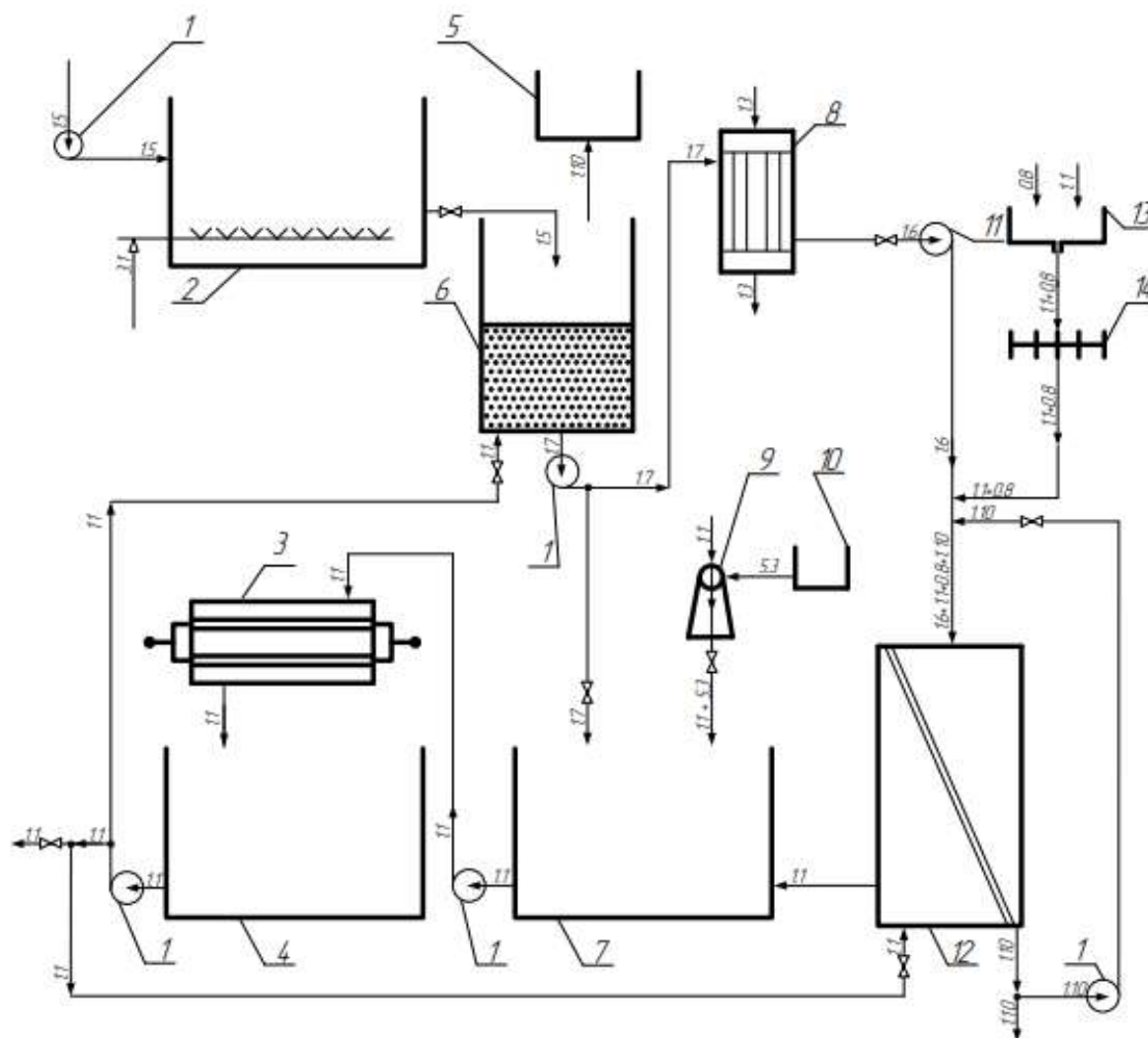


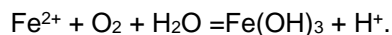
Рисунок 2 – Принципиальная схема водоподготовки с использованием нанофильтрации:

- 1 – насос; 2 – накопительная емкость аэрируемая; 3 – ультрафиолетовая установка; 4 – накопительная емкость питьевой воды; 5 – емкость промывной воды; 6 – фильтр гидростатический; 7 – смеситель; 8 – теплообменник; 9 – эжектор; 10 – емкость с гипохлоритом натрия; 11 – насос высокого давления; 12 – мембранная установка нанофильтрации; 13 – емкость бункерная; 14 – дозатор обозначения потоков: 08 – антискалант, 1.1 – вода питьевая, 1.3 – вода горячая, 1.5 – вода питательная, 1.6 – вода нагретая, 1.7 – вода фильтрованная, 1.10 – вода сточная, 3.1 – воздух атмосферный, 5.3 – гипохлорит натрия

Figure 2 - Schematic diagram of water treatment using nanofiltration:

- 1 - pump; 2 - aerated storage tank; 3 - ultraviolet installation; 4 - storage tank of drinking water; 5 - washing water tank; 6 - hydrostatic filter; 7 - mixer; 8 - heat exchanger; 9 - ejector; 10 - container with sodium hypochlorite; 11 - high-pressure pump pressure; 12 - membrane nanofiltration unit; 13 - bunker tank; 14 - flow dispenser: 08 - antiscalant, 1.1 - drinking water, 1.3 - hot water, 1.5 - nutrient water, 1.6 - heated water, 1.7 - filtered water, 1.10 - sewage water, 3.1 - atmospheric air, 5.3 - sodium hypochlorite

Первым этапом водоподготовки является обезжелезивание, которое осуществляется в накопительной аэрируемой емкости 2, двухвалентное железо в присутствии кислорода воздуха окисляется до трехвалентного:



Далее вода подается в гидростатический фильтр с зернистой загрузкой 6, где происходит осаждение  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Для фильтра выбрана загрузка Birm на основе алюмосиликата,

покрытого диоксидом марганца [10]. Данная загрузка отличается оптимальной скоростью фильтрации и хорошей каталитической активностью по отношению к железу и марганцу. Профильтрованная вода нагревается в кожухотрубчатом теплообменнике 8 до 25 °С для снижения вязкости, от которой напрямую зависит проницаемость мембраны.

Второй этап заключается в фильтрации воды на мембранной установке нанофильтрации 12. Предварительно в поток воды из бункерной емкости 13 дозатором 14 вводится антискалант, чтобы предотвратить деградацию мембраны и не допустить снижения селективности. Для обессоливания выбран процесс нанофильтрации ввиду невысокой концентрации примесей, а следовательно, малого осмотического давления исходного раствора, что позволяет снизить потребность в энергоресурсах. Часть концентрата циркулирует в мембранном модуле, позволяя увеличить выход пермеата, другая часть возвращается в тот же горизонт, из которого производится добыча подземных вод, но на некотором удалении от добыточной скважины.

Третий этап состоит в накоплении обессоленной воды в емкости 4 и ее обеззараживании. Пермеат из мембранной установки 12 подается в смеситель 7, куда эжектором 9 из емкости 10 дозируется раствор гипохлорита натрия для предварительного обеззараживания. Из фильтра 6 в тот же смеситель поступает вода для поддержания необходимого солевого состава.

Вода из емкости 7 подается на обеззараживание ультрафиолетом в установке 3. Обеззараженная вода собирается в накопительной емкости питьевой воды 4, часть из которой используется для промывки фильтра 6 и нанофильтрационной установки 12.

Для процесса нанофильтрации выбран мембранный модуль NE 8040-90 марки CSM [11] с композитной полиамидной мембраной. Производительность модуля 30,3 м<sup>3</sup>/сут., селективность по CaCl<sub>2</sub> составляет (90–97) %, что удовлетворяет требуемым условиям.

Необходимая производительность воды питьевого качества для населенного пункта на 5000 человек составит 1500 м<sup>3</sup>/сут. при норме водопотребления 300 л/сут. [12]. При средней производительности выбранной мембраны 3,75•10<sup>-3</sup>кг/(м<sup>2</sup>) [10] число мембранных аппаратов составит 11, количество модулей в каждом аппарате 65.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технологическая схема водоподготовки с использованием нанофильтрационной установки для одного из населенных пунктов Кулундинского района Алтайского края. Предложенная схема позволит очищать воду до нормативов СанПиН 1.2.3685-21 и обеспечить население питьевой водой с требуемым расходом 1500 м<sup>3</sup>/сут.

Для процесса нанофильтрации выбран мембранный модуль NE 8040-90 марки CSM с композитной мембраной, который в количестве 11 аппаратов обеспечит необходимую производительность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кормаков В.И., Комарова Л.Ф. Водные ресурсы Алтайского края: использование, охрана. Монография. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. 164 с.
2. Борзилов О.С. Оценка ресурсов подземных вод для целей аграрно-индустриального развития Кулунды. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2014. 184 с.
3. Заносова В.И., Молчанова Т.Я. Оценка качества подземных вод и степени их пригодности для орошения. Вестник АГАУ. 2017, № 6 (152). С. 49–54.
4. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. М. : Изд-во ДеЛи плюс, 2013. 680 с.
5. Головесов В.А., Первов А.Г., Сухов Г.Д., Рудокова Г.Я. Влияние выбора антискаланта на величину эксплуатационных затрат для установок обратного осмоса. Вестник МГСУ, 2020, № 8. С. 1163–1174.
6. Боровский Г.В., Абрамов В.Ю., Вавичкин Л.Ю. Опытнo-технологические исследования по водоподготовке некондиционных природных подземных вод // Разведка и охрана недр. №11, 2012. С. 26–31.
7. Кунденко С.Б., Попова Т.Ю., Медведь П.В. Индивидуальная технология водоподготовки артезианской воды со сложным составом примесей // Вестник ИШ ДВФУ, 2018. № 3 (36). С. 118–127.
8. Протасовский Е.М., Бубырев Д.И. Водопроводная очистная станция подземной воды города Армянск Республики Крым // Вода и экология: проблемы и решения, 2018. № 1 (73). С. 17–21.
9. Головесов В.А., Рудокова Г.Я., Первов А.Г., Спицов Д.В. Выбор мембран и сервисных реагентов для мембранных установок, применяемых для обработки подземных вод // Вестник МГСУ. 2020, 311. С. 1556–1569.
10. Birm [Электронный ресурс]: Aquasolution.ru. Современные технологии очистки воды. URL: <https://aquasolution.ru/birm> (дата обращения 21.12.2022).
11. Мембрана CSM NE 8040-90 [электронный ресурс]: оф. сайт Waterfilter URL: [https://waterfilter.ru/catalog/membrany/membrana\\_CSM\\_ne\\_8040\\_90](https://waterfilter.ru/catalog/membrany/membrana_CSM_ne_8040_90) (дата обращения 15.01.2022).

12. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник Т.1. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 884 с.

#### **Информация об авторах**

*Л. Ф. Комарова – доктор технических наук, профессор кафедры химической техники и инженерной экологии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*В. А. Сомин – доктор технических наук, зав. кафедрой химической техники инженерной экологии института биотехнологий, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*Д. А. Лапшин – студент гр. 8ЭРПХ-01 Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

#### **REFERENCES**

1. Kormakov, V.I. & Komarova, L.F. (2007). Water resources of the Altai Territory: use, protection. Monograph. Barnaul: publishing house of AltSTU. (In Russ.).
2. Borzilov, O.S. (2014). Assessment of groundwater resources for the purposes of agro-industrial development of Kulunda. Dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences. Barnaul: publishing house of AGAU. (In Russ.).
3. Zanosova, V.I. & Molchanova, T.Ya. (2017). Assessing the quality of groundwater and its suitability for irrigation. Vestnik AGAU., 6 (152). 49-54. (In Russ.).
4. Ryabchikov, B.E. (2013). Modern water treatment. M. : publishing house DeLi plus. (In Russ.).
5. Golovesov, V.A., Pervov, A.G., Sukhov, G.D. & Rudokova, G.Ya. (2020). Influence of the choice of antiscalant on the value of operating costs for reverse osmosis plants. Bulletin of MGSU. (8).1163-1174. (In Russ.).
6. Borevsky, G.V., Abramov, V.Yu. & Vavi-

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.*

*The article was received by the editorial board on 17 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.*

chkin, L.Yu. (2012). Experimental and technological research on water treatment of substandard natural groundwater. Exploration and protection of mineral resources. (11), 26-31. (In Russ.).

7. Kundenok, S.B., Popova, T.Yu. & Medved, P.V. (2018). Individual technology for water treatment of artesian water with a complex composition of impurities. Bulletin of the ISH FEFU. 3 (36). 118-127. (In Russ.).

8. Protasovsky, E.M. & Bubyrev, D.I. (2018). Groundwater treatment plant of the city of Armyansk of the Republic of Crimea. Water and ecology: problems and solutions. 1 (73). 17-21. (In Russ.).

9. Golovesov, V.A., Rudakova, G.Ya., Pervov, A.G. & Spitsov, D.V. (2020). The choice of membranes and service reagents for membrane plants used for groundwater treatment. Bulletin of MGSU. (311). 1556-1569. (In Russ.).

10. Birm: Aquasolution.ru. (2022). Modern water treatment technologies. Retrieved from <https://aquasolution.ru/birm>. (In Russ.).

11. Membrane CSM NE 8040-90 off. (2022). Waterfilter website Retrieved from [https://waterfilter.ru/catalog/membrany/membranaCSM\\_ne\\_8040\\_90](https://waterfilter.ru/catalog/membrany/membranaCSM_ne_8040_90). (In Russ.).

12. Timonin, A.S. (2003). Engineering and environmental reference book T.1. Kaluga: publishing house N. Bochkareva. (In Russ.).

#### **Information about the authors**

*L.F. Komarova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology of the Polzunov Altai State Technical University.*

*V.A. Somin - Doctor of Technical Sciences, Head. Department of Chemical Engineering of Engineering Ecology of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.*

*D.A. Lapshin - student gr. 8ERPH-01 of e Polzunov Altai State Technical University. th*