

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УДАЛЕНИЯ БОРА ИЗ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

Г.А. Самбурский, доцент

кафедра Эколого-экономического анализа технологий, МИТХТ им. М.В. Ломоносова

e-mail: gesamb@yandex.ru

В настоящей публикации рассмотрены вопросы химии бора, влияния бора на организм человека, способы удаления бора из воды и перспективы применения современных технологий удаления соединений бора из природных вод в РФ. Особое внимание уделено современным ионообменным и мембранным технологиям удаления бора. Рассмотрены возможности ионитов и борселективных мембран различных производителей, кратко описаны факторы, влияющие на их селективность по соединениям бора в водных растворах.

The review covers some aspects of boron chemistry, its influence on the human organism, methods of boron disposal from water, and prospects of technologies for boron removal from water in the Russian Federation. Most attention is concentrated on modern ion-exchange and membrane technologies of boron removal. The possibilities of ion-exchange resins and boron-selective membranes from different manufacturers are considered. Factors affecting their selectivity for boron compounds in aqueous solutions are briefly described.

Ключевые слова: бор, технологии, очистка воды, ионный обмен, обратный осмос.

Key words: boron; technology, water treatment, ion-exchange, reverse osmosis.

Выбор технологии удаления бора из воды достаточно сложен и в значительной степени зависит от многих местных факторов: стоимости электроэнергии, требованиям к отводимым сточным водам, технической подготовленности обслуживающего персонала, финансовых возможностей и привязанностей к определенным технологиям и др. Многие страны столкнулись с этим вплотную, о чем свидетельствует большое количество публикаций на эту тему в иностранной научно-технической литературе и разработок, воплощенных в практику водоподготовки.

Среднесуточная потребность человека в боре составляет 1-2 мг (минимум поступления бора – 0.2 мг). Этими цифрами объясняется ПДК 0.5 мг/л на содержание бора в питьевой воде. Однако в связи с тем, что на некоторые эссенциальные элементы устанавливаются нормы на их содержание, правильнее говорить о физиологических нормах содержания бора в питьевой воде, которые составляют 0.1 – 0.4 мг/л. Они предполагают, что достаточно значительная часть бора, необходимого организму человека, поступает из пищи [1, 2]. В целом, ограничения по содержанию бора в воде, введенные различными организациями представлены в табл. 1. Бор относится к классу условно-эссенциальных, иммунотоксичных микроэлементов. Влияние бора на метаболизм организма человека неоднозначно. При поступлении в организм с пищей и водой он практически полностью поглощается из желудочно-кишечного тракта. Положительное влияние бора связано с существенной ролью в обмене углеводов и жиров, ряда витаминов и гормонов, влиянии на активность некоторых ферментов, наличии противовоспалительного, и противоопухолевого действия, оказании лечебного эффекта при остеопорозе, артритах и костном флюорозе. Устранение дефицита бора вызывает улучшение минерального обмена и состояния костной ткани, способствует профилактике и

лечении остеопороза у женщин в период постменопаузы. Кроме того, бор обладает способностью усиливать половое влечение и половую функцию у мужчин, повышает уровень мужских половых гормонов тестостерона и влияет на общую мышечную массу. Бор является важным элементом и для растений по причине активного участия в синтезе биофлавоноидов. При длительном воздействии соединений бора происходит хроническое нарушение процессов пищеварения («борный энтерит»), возникает борная интоксикация, которая может поразить печень, почки, центральную нервную систему. В длительных исследованиях на животных было выявлено негативное воздействие бора на репродуктивную функцию у мужских особей (в частности, снижение выработки сперматозоидов и развитие атрофии яичка), а также токсическое действие на эмбрион во время беременности с возможностью возникновения дефектов у новорожденных [1].

Поступление бора в поверхностные источники имеет преимущественно антропогенное происхождение. Кроме размывания шламов борсодержащих руд и применения удобрений с бором, этот элемент может попадать в водоемы со сточными водами металлургического, керамического, кожевенного и других производств. В среднем, его содержание в таких стоках составляет 15 мг/л. Достаточно велико содержание бора в воде морей и океанов, там оно может достигать 4.5-5.0 мг/л. Поскольку соединения бора достаточно трудноудаляемы, возникает проблема избыточных концентраций бора в опресненной для питья морской воде. По информации Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) концентрация бора в подземных и поверхностных водах в Российской Федерации находится в интервале 0.01 – 7 мг/л [3] и в основном определяется географическим расположением водоисточника. По обобщенной ин-

формации, дополнительными источниками поступления бора в природные воды могут служить борсодежащие породы (бура, борацит, колеманит, улексит и др.), из которых происходит вымывание борных соединений, или источники антропогенного воздействия, например, точки выпуска сточных вод, содержащих высокие концентрации детергентов и ПАВ.

Борная кислота и бораты используются при производстве боросиликатного стекла, эмали, фарфоровой массы, глазури, при изготовлении

мыла, пеногасителей, поглотителей нейтронов в ядерной отрасли. В качестве мягкого антисептика борная кислота, бораты и пербораты используются в косметической и фармацевтической промышленности, при производстве пестицидов и удобрений [2]. В подземных водоемностях, располагающихся даже в пределах одного небольшого населенного пункта, концентрации бора могут различаться более чем на порядок.

Таблица 1. Ограничения по содержанию бора в воде

Нормативный документ	Наименование	Ограничение по бору, мг/л
СанПиН 2.1.4.1074-01	Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения	0.5
СанПиН 2.1.4.1116-02	Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды расфасованной в емкости. Высшая категория качества	0.3
ГОСТ 13273-88	Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые. Лечебно-столовая вода	Не менее 35
Директива 2003/40/ЕС, CODEX STAN 108-1981	Директива Европейской комиссии по определению перечня, лимитов концентрации и маркировочным требованиям в отношении элементов, входящих в состав минеральных вод	5
	Поливная вода, тепличные культуры	0.5

С совершенствованием природоохранного законодательства, определяющего как требования к подготовке воды, так и требования к водоочистке, тесно связана развернувшаяся дискуссия вокруг понятия «Наилучшие доступные технологии» [3]. Концепция Best Available Techniques (BAT - НДТ), работающая в ЕС, откуда и была в целом заимствована в виде концептуальной идеи, не содержит таких примитивных подходов. Она подразумевает, что государственные органы, выдающие разрешение на деятельность, оказывающую воздействие на окружающую среду, должны анализировать совокупность технических и организационных решений заявляемой производственной установки, включая решения по снижению воздействия и по энергоэффективности. С этой целью в ЕС используются Справочники по наилучшим доступным техническим решениям, минимизирующим воздействие на окружающую среду. Собственно говоря, в РФ в этом направлении проводится работа, связанная с принятием, например, стандартов серии ГОСТ Р 9000, и ГОСТ Р 14000. И есть все основания полагать, что современные технические решения в области водоподготовки и водоочистки смогут обеспечить требуемые нормативы очистки, в том числе и от бора.

Удаление бора из воды осуществляется рядом способов: сорбцией на гранулированном

активированном угле, фиксацией на активированных окислах переходных металлов, декарбонизацией известью с осаждением марганца, селективной сорбцией на специальных ионообменниках, обратным осмосом [4], а также электродиализом, электродеионизацией и дистилляцией. Попробуем рассмотреть вопросы удаления бора через призму НДТ.

Применение традиционных методов водоподготовки (коагуляция, седиментация, фильтрация) оказывается неэффективным, поэтому на практике для снижения концентрации бора часто прибегают к тривиальному разбавлению борсодержащих вод [5]. Химическое осаждение соединений бора – технологически сложный процесс, в котором образуется достаточно большое количество непостоянных по составу осадков, нуждающихся в сушке или дальнейшей переработке. Одним из методов извлечения бора из растворов является осаждение и соосаждение борат-анионов в виде труднорастворимых соединений. Исследован механизм поглощения борат-ионов гидроксидами металлов. Кислотность среды в значительной степени определяет количество бора, захватываемого осадком. Так, если при pH=11 из 0.2 М раствора борной кислоты извлекается гидроксидом магния около 75% от исходного количества бора, то при pH~13 — около 7%. Это обусловлено изменением состояния борат-ионов в растворе и сни-

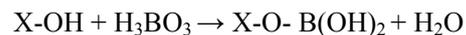
жением сорбционной емкости сорбента в результате увеличения концентрации гидроксид-ионов. Известно, что соосаждение борат-ионов с гидроксидами металлов в зависимости от pH раствора выражается кривой с максимумом, находящимся в области pH 8-9 [5]. Методы осаждения и соосаждения бора в виде труднорастворимых соединений находят практическое применение в слабоминерализованных водных системах и могут быть рекомендованы для предварительной грубой очистки борсодержащих растворов. Процесс трудоемок и сложен в технологическом оформлении: низки скорости фильтрования, получаемые осадки, как правило, малоцентрированы по бору, не обладают постоянством состава и нуждаются в дополнительной переработке, исключается повторное использование осадителей.

Для использования активированного угля в качестве сорбента бора для каждого конкретного состава воды необходимо проводить подбор как самого активированного угля, так и межрегенерационного периода и регенерационного раствора. Такая технология требует значительных затрат на проведение предварительных исследований [4]. Теоретически возможно удаление бора с использованием технологии электрокоагуляции, с учетом возможности образования активированной гидроокиси алюминия. Однако ссылки на реальное использование такого процесса не найдены. Удаление бора посредством дистилляции не имеет широкого распространения в связи с высокими энергозатратами и наличием более эффективных методов. Процесс удаления бора с использованием шестисекционной электродиализной ячейки из природных и сточных вод с использованием комбинированных сорбционно-мембранных методов достаточно хорошо описан. В Казахстане разработаны и выпускаются установки ЭДИС-Ф-10...5000, производительностью от 10 до 5000 л/ч, использующие технологию электродиализа на селективных мембранах. Установки

позволяют очищать воду с превышением ПДК по фтору и бору до нормативных требований, предъявляемых к питьевой воде [6]. Однако широкого распространения для удаления бора метод электродиализа не получил в связи с высокими удельными затратами электроэнергии. Сорбция бора на гидратированной двуокиси циркония представлена в обзоре [7]. Однако в настоящее время такой способ не может получить широкого распространения в связи с высокой стоимостью самого материала.

Проведенный анализ данных позволяет достаточно уверенно говорить о том, что эколого-экономически обоснованными методами снижения концентрации бора в воде являются ионный обмен (борселективная смола с особыми функциональными группами) [8] и обратный осмос, применение которого в крупных масштабах экологически оправдано [9, 10].

Разработка борселективных ионообменных смол велась в 70-80-х годах 20 века в различных странах, в том числе и в СССР, где был создан поликонденсационный анионит с аминооксиэтильными функциональными группами СБ-1 [7]. В промышленном масштабе в настоящее время борселективные сорбенты выпускаются ведущими мировыми производителями ионитов (табл. 2) на стиролдивинилбензолной макропористой матрице с функциональными группами на основе *N*-метилглюкамина. На активных центрах (ОН-группах) сорбента происходит хемосорбция соединений бора с образованием достаточно устойчивых *цис*-диольных боратно-эфирных комплексных соединений, которые выглядят следующим образом:



Динамическая обменная емкость для таких ионитов находится в пределах 0.6 – 0.7 г-экв/л. Альтернативной ионному обмену методикой является использование различных пористых сорбентов (в том числе изготовленных на основе ионитов), где основой функциональных групп также является *N*-метилглюкамин [11].

Таблица 2. Борселективные сорбенты выпускаются ведущими мировыми производителями ионитов.

Производитель/ Сорбент	Purolite	Lanxess	Mitsubishi	Dow		Resin	Doshion	Suqing
		Lewatit	Diaion	Dowex	Amberlite	Tech		Granion
Наименование	S108	MK51	CRB 02	BSR-1	PWA10	SIR-1100	DCHR 75	D 403

В табл. 3 представлены сводные данные [6] по наиболее распространенным борселективным сорбентам. По сравнению с обычными ионообменными смолами сорбционная способность специальных смол может быть выше до 30 раз. Борселективные сорбенты эффективно работают в растворах с диапазоном значений pH 6-10, в очень широком интервале концентраций бора, при температуре в пределах 60°C. Обменная емкость данных ионитов по-

рядка 0.7 г-экв/л. Данные иониты могут снижать концентрацию бора в водных растворах на порядок даже в тех случаях, когда концентрация других ионов достаточно высока. Определенная сложность при использовании этих ионитов вызвана тем, что после проведения нескольких регенераций раствором хлорида натрия требуется проведение последовательной регенерации кислотой и щелочью.

Таблица 3. Данные по наиболее распространенным борселективным сорбентам.

Показатель	S108	MK51	PWA10	BSR-1	Granion D 403
Ионная форма в рабочем состоянии	Свободное основание				
Влажность, %	61-67	48-55	48-54	51-59	52-60
Общая емкость г*экв/л	0.6	0.6	0.7	0.6	0.9
Насыпная масса, г/л	670-730	710	700-740	-	700-760
Размер зерен, мм	0.4-0.63	0.315-1.6	0.5-0.7	0.5-0.6	0.4-1.25
Рабочий диапазон pH	4-10		7.0-11.0		5-14
Максимальная рабочая температура, °С	60	60	75(хлор-форма)	-	80
Изменение объема при переходе из ОН в Cl-форму, %	25	15	-	24-28	-
Минимальная высота слоя, мм	-	-	-	-	1000
Скорость фильтрации, м/ч	-	30	4-30	-	8-20
Расширение слоя при обратной промывке, %	-	-	-	-	40-60
Скорость обратной промывки, объем смолы/час	-	8...12	-	-	2-6
Порядок регенерации	1) 5 % HCl	1) 5÷10 % HCl	-	-	1) 5 % H ₂ SO ₄
	2) H ₂ O	2) 2÷4 % NaOH			2) H ₂ O
	3) 2÷3 % NaOH	3) H ₂ O			3) 2÷3 % NaOH
	4) H ₂ O				4) H ₂ O

Необходимо отметить, что поскольку селективные сорбенты имеют сходное химическое строение и достаточно близкие физико-химические свойства, их поведение при удалении бора из воды тоже должно быть похоже. На рис. 1 показана зависимость сорбционной емкости по бору от скорости фильтрования воды, выполненный в ходе испытаний на ионите S108, предоставленном фирмой Purolite. Как видно из рисунка, емкость смолы в значительной степени зависит от скорости потока и, в отличие от традиционных ионообменных смол, работающих на скоростях до 25 м/ч, при сорбции бора из растворов необходимо ориентироваться на скорость 5-15 м/ч.

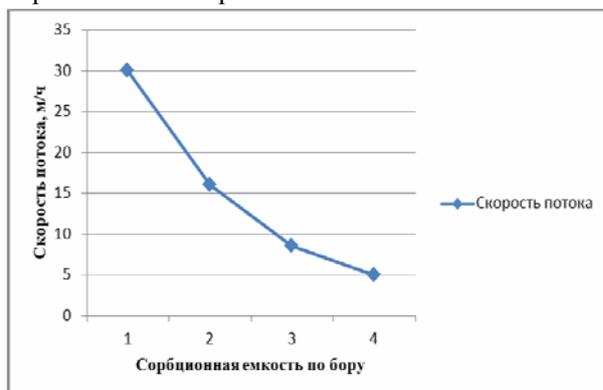


Рис. 1. Зависимость сорбционной емкости по бору от скорости фильтрования воды в м/ч.

Основные общие проблемы, связанные с эксплуатацией ионообменных технологий по удалению бора, следующие:

- снижение объема исследований и рекомендаций в области ионного обмена;

- проблемы стабильности автоматизированной запорно-регулирующей арматуры и автоматического регулирования давления при регенерации систем, а также отсутствие полностью автоматизированных фильтров смешанного действия и малый опыт в этой области;

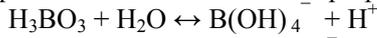
- резкий рост цен на щелочи и кислоты, необходимые для регенерации, практическое отсутствие качественных отечественных ионитов;

- отсутствие утвержденных стандартных РД по современным типам противоточных систем.

Тем не менее, ионообменные установки с борселективными сорбентами успешно работают во многих странах мира, в том числе и в России. Следует отметить, что индивидуально борселективные сорбенты целесообразно использовать для получения питьевой воды из достаточно маломинерализованных природных вод, поскольку они практически не изменяют общее солесодержание. В случае сильноминерализованных, морских вод, а также для получения глубокообессоленной воды с низким содержанием бора целесообразно использовать комбинированную мембранно-ионообменную технологию [12].

Обратноосмотические (ОО) технологии удаления бора из природных вод начала применяться сравнительно недавно [11], что было связано с отсутствием на рынке промышленно выпускаемых борселективных мембран и мембранных элементов на их основе. Особенности удаления бора посредством ОО связаны, в первую очередь, с химией бора. При низком pH бор находится в виде малодиссоциированной борной кислоты, а при высоком pH – в виде прост-

ранственно более крупного гидратированного иона. При pH более 8.5-9.0 начинается осадкообразование других соединений, возможно содержащихся в очищаемой воде. Диссоциация борной кислоты начинается при $\text{pH} > 8$.



Таким образом, общая концентрация бора в природных водах определяется суммой концентраций борной кислоты H_3BO_3 и ионов

$\text{B}(\text{OH})_4^-$ в растворе, а соотношение между ними определяется водородным показателем (pH) воды. На рис. 2 приведена равновесная кривая, показывающая содержание борной кислоты и борат-ионов в зависимости от водородного показателя. Чем выше pH, тем больше равновесная концентрация борат-ионов и тем меньше содержание свободной недиссоциированной борной кислоты в растворе.

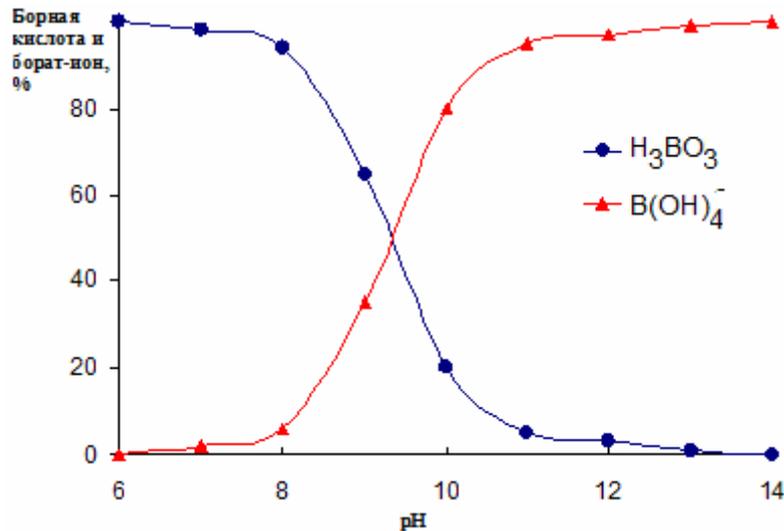


Рис. 2. Зависимость содержания соединений бора от pH. Равновесные кривые содержания борной кислоты и борат-иона в воде при температуре 15°C [6].

В настоящее время на рынке промышленно производимых мембранных элементов для ОО существует два принципиально различных типа мембран, применяющихся для опреснения вод с различной минерализацией:

- низконапорные (минерализация от 0 до 15 г/л);
- высоконапорные (минерализация от 10 до 80 г/л).

Область применения первого типа мембран – подготовка и получение питьевой и технической воды из подземных и поверхностных водоисточников малой и средней минерализации, что наиболее востребовано в условиях РФ. Второй тип мембран чаще всего используется для опреснения морских и океанских вод высокой минерализации. Самым важным фактором, позволяющим повысить селективность как низко-, так и высоконапорных мембран, является водородный показатель разделяемого раствора. Борная кислота диссоциирована незначительно, а ион $\text{H}_3\text{BO}_2^{2-}$ сильно диссоциирован и имеет значительную гидратную оболочку, следовательно, задержание бора при высоких pH наиболее целесообразно, что подтверждается многочисленными исследованиями. Значения селективности обратноосмотической мембраны по борат- и полиборат-ионам существенно выше, чем для борной кислоты, находящейся в воде в частично диссоциированном состоянии. Это связано, в первую оче-

редь, с тем, что такие ионы находятся в воде в частично или полностью гидратированном состоянии, а следовательно, имеют существенно большие геометрические размеры, чем молекулы недиссоциированной и мало гидратированной борной кислоты. Таким образом, кислотно-щелочной баланс водного раствора является важным показателем, позволяющим прогнозировать селективности ОО мембран по соединениям бора. Значения селективности большинства промышленных низконапорных ОО мембран по бору при нейтральных значениях pH воды не превышают 50-70%, высоконапорных – 80-85% [8].

Ведущие производители мембранных элементов, в частности, фирмы Dow Chemical (Filmtec) и Nitto Denco (Hydranautics) предлагают ряд технологических цепочек с использованием как ОО установок, так и комбинированных методов [13] на первом этапе каждой из которых осуществляется обработка морской воды на высоконапорных высокоселективных специальных мембранах. На примере конкретной задачи может быть определено оптимальное сочетание тех или иных методов удаления и извлечения бора из воды путем технико-экономического анализа. Так, на рис. 3 представлена опытная зависимость селективности мембран Filmtec от pH, воспроизведенная на опытной установке в ходе проведения лаборатор-

ных экспериментов. Зависимость селективности мембран Hydranautics от pH, по имеющимся данным аналогична [6]. Как видно из рисунка, селективность мембран по отношению к соединениям бора хорошо коррелируется с данными рис. 2, причем селективность высоконапорных морских мембранных элементов значительно выше, чем низконапорных.

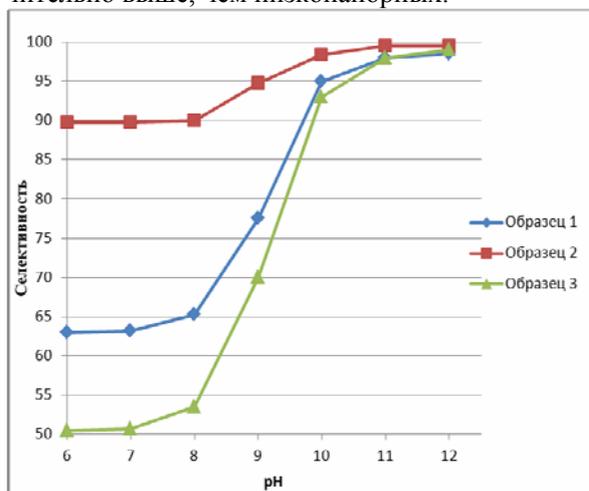


Рис. 3. Зависимость селективности мембран Filmtec от pH; Образец 1 – SW30HR-380; Образец 2 – BW30-400; Образец 3 – BW30LE-440.

Среди высоконапорных мембран в настоящее время только Dow Chemical предлагает специальные морские мембраны с увеличенной селективностью по бору (см.табл. 4). Nitto Denco (Hydranautics) предлагает мембранные элементы с увеличенной селективностью по бору (ESPA B, табл. 5) для низконапорного ОО, которые рекомендуется использовать для удаления бора из маломинерализованных вод и на второй ступени удаления бора из морской воды (после высоконапорного ОО). Бор-селективные мембранные элементы имеют повышенную селективность по бору при pH 10 (96%), в то время как стандартные мембранные элементы показывают селективность по бору при pH 10 не более 90-92%. В отличие от стандартных низконапорных мембран, бор-селективные мембраны имеют расширенный диапазон рабочих значений pH, что говорит об их более высокой химической стабильности. Физико-химические и эксплуатационные характеристики мембран ESPA B представлены в табл. 5. Согласно расчетной программе IMSDesign (Hydranautics), отличия в селективности по бору мембран ESPA B от стандартных низконапорных, например ESPA 3, начинаются с pH более 8.5. Этим обусловлена необходимость подщелачивания воды перед подачей на бор-селективные мембраны и, соответственно, требование к повышенной химической стабильности мембран и расширение производителем рабочего диапазона pH в область больших значений.

Одним из лидеров в разработке и получении высоконапорной бор-селективной мембраны и изготовлении мембранного элемента на ее основе является компания Toray Industries Inc (Япония) [10, 11]. В настоящее время промышленно производятся несколько типов бор-селективных мембранных элементов для воды с различной исходной минерализацией и селективностью по бору от 91 до 95%.

В большинстве случаев невозможно осуществить удаление бора из воды до требуемых норм при помощи технологии ОО в одну ступень. В связи с этим были разработаны несколько технологических цепочек, позволяющих получить воду требуемого качества [10]. Первая из них включает обработку воды на морских мембранах ОО, разделение потока, подачи части потока по байпасной линии и подщелачивание второй части пермеата первой ступени, подача его на установку ОО с бор-селективными мембранами. При необходимости, в результате этой обработки получается питьевая вода или обессоленная вода требуемого качества. При отсутствии подщелачивания бор-селективных мембран на второй стадии и пропускании пермеата первой ступени через обычные низконапорные мембранные элементы необходимо пропускание части потока через бор-селективный ионообменник. Вторая цепочка также включает обработку на морских мембранах и подачу части потока воды или же всего потока на бор-селективную ионообменную смолу. В этом случае также возможно получение воды требуемого качества. В случае необходимости получения глубокообессоленной воды могут быть добавлены другие ступени обработки.

Тем не менее, несмотря на приведенные данные, выбор в пользу обратноосмотических систем не столь очевиден. Совсем непросто процесс проектирования обратноосмотических систем. И если вопросы, связанные с расчетом гидравлических параметров, решаются достаточно успешно, то селективность мембран вызывает вопросы. Все расчетные программы дают оценки качества работы установок ОО в начале фильтроцикла на «свежих» мембранных элементах (МЭ). Соответственно, необходимо делать проектирование установок ОО с учетом снижения селективности и производительности МЭ в процессе эксплуатации.

Еще одной проблемой является необходимость резервирования линий очистки. И если для, к примеру, ионного обмена обычной кратностью резервирования является числа от 100 до 1000%, то в установках ОО резервирование часто не проектируется, либо находится в пределах от 0 до 75%.

Таблица 4. Обратноосмотические морские мембраны, производимые Dow Chemical (Filmtec), Hydranautics, Osmonics (Desal) и Toray [13].

Тип	Мембрана	Диаметр	Поток пермеата, м ³ /день	Поверхность, м ²	Максимальное давление, бар	Селективность по NaCl, %
FILMTEC	SW30-2540	2.5"	2.6	2.6	68.9	99.4
	SW30-4021	4"	3.0	3.1	68.9	99.4
	SW30-4040	4"	7.4	7.4	68.9	99.4
	SW30HRLE-4040	4"	6.1	7.9	82.7	99.75
	SW30HR-380	8"	23.0	35.3	68.9	99.70
	SW30-380	8"	34.1	35.3	68.9	99.40
	SW30XLE-400i	8"	34.1	37.2	82.7	99.70
	SW30HRLE-400i	8"	28.4	37.2	82.7	99.75
	SW30ULE-400i	8"	41.6	37.2	82.7	99.70
<i>Для удаления бора</i>	SW30XHR-400i	8"	22.7	37.5	82.7	99.75
DESAL	AD 2540 FF	2.5"	1.4		68.9	
	AD 4040 FF	4"	4.7	8.2	82.7	99.6
	AD 8040F	8"	20.8	34.8	82.7	99.6
HYDRANAUTICS	SWC1-4040	4"	4.5	6.5	68.9	99.5
	SWC3+	8"	26.5	37.2	82.7	99.8
	SWC4+	8"	24.6	37.2	82.7	99.8
	SWC5	8"	34.1	37.2	82.7	99.8
TORAY	TM810	4"	4.5	7.0	68.9	99.75
	TM820-370	8"	23.0	34.0	68.9	99.75
	TM820-400	8"	25.0	37.0	68.9	99.75
	TM810L	4"	6.0	7.0	68.9	99.70
	TM820L-370	8"	34.1	34.0	68.9	99.70
	TM820L-400	8"	37.9	37.0	68.9	99.70
	TM820H-370	8"	21	34.0	82.7	99.75
	SU810	4"	4.0		68.9	99.75
	SU820	8"	16.0		68.9	99.75
	SU820-FA	8"	19.0		68.9	99.75
	SU820L	8"	21.0		68.9	99.75
	SU-820 BCM	8"			98	99.7

Таблица 5. Физико-химические и эксплуатационные показатели мембран ESPA B.

Показатель	Ед.измерения	Значение
Структура элемента	-	Спиральный
Материал мембраны	-	Композитная, полиамидная
Площадь мембраны	М ²	37.1
Поток пермеата	М ³ /сутки	32.6
Селективность по бору при pH 10	%	96
Максимальное давление	МПа	4.16
Максимальная рабочая температура	°С	45
Максимальное содержание активного хлора	мг/л	0.1
Рабочий диапазон pH	Ед. pH	2 - 11
Максимальная мутность исходной воды	NTU	1.0
Максимальный коллоидный индекс	SDI (15 мин)	5
Максимальный поток исходной воды	М ³ /сутки	17.0

Проблема избыточного бора в России ещё только начинает проявлять себя из-за малой загрязнённости бором поверхностных вод, локальных превышения концентраций бора в

подземных водах и незначительного использования морской воды в качестве источника, предназначенного для питья и технических нужд [14]. Исследования по совершенство-

ванию методов удаления бора из воды продолжают. Учитывая все больший дефицит воды, следует ожидать улучшения эффективности существующих мембранных технологий и развития гибридных процессов, совмещающих мембранные и, возможно, адсорбционные методы. И концепция наилучших доступных техно-

логий должна будет рассматриваться под совершенно другим углом, так как ожидаемая стоимость воды будет стремительно расти. Речь, скорее всего, будет идти не о выборе наилучшей доступной технологии, но о технологиях доступа к воде за любую цену [15].

ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. Т. 2. Атомовиты. – М.: Гелиос, 2000. 667 с.
2. World Health Organization WHO/HSE/WSH/09.01/2 Boron in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Printed by the WHO Document Production Services, Geneva, Switzerland, 2009. 28 p.
3. Самбурский Г.А. Практические вопросы эксплуатации и модернизации сооружений очистки сточных вод. Новое в технологии очистки сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 1. С. 10–13
4. Технический справочник по обработке воды. Изд. 2-е: в 2 т.: пер. с франц. – СПб.: Новый журнал, 2007. 1696 с.
5. Видякин М.Н., Лазарева Ю.Н., Reisewits R. Мембранные технологии удаления бора из природных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 12. С. 60–69.
6. Краснов М.С. Очистка воды от бора. Проблемы и особенности // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 4. С. 64–73.
7. Атаманюк В.Ю., Трачевский В.В. Сорбционный и ионообменный методы извлечения бора из природных и сточных вод (обзор) // НАУКОВІ ЗАПИСКИ. Т. 20. Хімічні науки і технології. 2002. С. 3–28.
8. Hilal N., Khayet M., Wright C.J. Membrane modification: Technology and applications. – NY: CRC Press, 2011. 360 p.
9. Pastor M.R., Ruiz A.F., Chillón M.F., Rico D.P. Influence of pH in the elimination of boron by means of reverse osmosis // Desalination. 2001. V. 140. № 2. P. 145–152.
10. Taniguchi M., Fusaoka Y., Nishikawa T., Kurihara M. Boron removal in RO seawater desalination // Desalination. 2004. V. 167. P. 419–426.
11. Parschová H., Mištová E., Matějka Z., Jelínek L., Kabay N., Kauppinen P. Comparison of several polymeric sorbents for selective boron removal from reverse osmosis permeate // React. Funct. Polym. 2007. V. 67. № 12. P. 1622–1627.
12. Ipek I. Yilmaz, Kabay N., Yuksel M., Kirmizisakal O., Bryjak M. Removal of boron from Balçova geothermal water by ion exchange microfiltration hybrid process // Desalination. 2009. V. 241. P. 167–173.
13. [Электронный ресурс] По материалам сайтов URL: <http://www.membranes.com>; <http://www.dow.com> (Дата обращения 10.04.2011).
14. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году» [Электронный ресурс] URL: <http://www.mnr.gov.ru> (Дата обращения 05.05.2011).
15. Пан Ги Мун. Послание ООН по случаю Всемирного дня водных ресурсов 22 марта 2011 года [Электронный ресурс] URL: <http://www.un.org> (Дата обращения 04.04.2011).