

**А. Ш. Муродиён, Н. Ю. Пулодов, Б. С. Джамолзода**

## ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА ВОД ВАХШСКОГО БАССЕЙНА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

**Ключевые слова:** антрацит, фильтрант, сорбент, прочность, пористость, глубокая очистка, природные воды, обратный осмос, иониты.

Проанализированы физико-химическими методами химический состав вод реки Вахш и установлено высокое содержание хлоридов – 275 мг/л, сульфатов – 30,5 мг/л, общей жесткости – 5,7 мг-экв/л, сухого остатка – 283 мг/л, ионов железа – 0,043 мг/л и меди – 0,030 мг/л по сравнению с водами реки Варзоб. Из сырого антрацита месторождения «Назарайлек» Рашицкой долины Республики Таджикистан путём карбонизации и активации смесью  $N_2+CO_2+пар$  получен сорбент с высокими техническими характеристиками и сорбционной емкостью по воде, равной – 0,358 см<sup>3</sup>/г и пригодной для глубокой очистки вод реки Вахш, а также очистки воды от ионов тяжелых металлов. Исследована кинетика выделения газов -  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  - при карбонизации антрацита. Показано, что скорость выделения  $H_2$  при  $t = 900^{\circ}C$  составляет 190 мл/мин, а  $CO_2$  – 2,0 мл/мин. Для глубокой очистки исходной воды с целью получения дистиллята предложена трёхстадийная схема: адсорбция активированным антрацитом – обратный осмос (гиперфильтрация) – ионный обмен (гранулированными катионитами и анионитами). Полученный пар из такого дистиллята безвреден для металлических конструкций котлоагрегатов ТЭЦ, труб, а также экономайзеров и паропререгревателей химического оборудования. Установлены пределы насыщения поверхности сорбентов, ионитов, а также мембран обратного осмоса где возникает необходимость в регенерации и очистке их от всевозможных отложений, образующихся в процессе сорбции. После переработки 500 м<sup>3</sup> сырой воды необходимо регенерировать все элементы системы трехстадийной очистки. Установлено, что с целью получения воды хозяйственно-питьевого назначения из воды реки Вахш достаточно ее фильтрации через слой активированного антрацита.

**A. Sh. Murodiyon, N. Yu. Pulodov, B. S. Jamolzoda**

## DEEP WATER TREATMENT IN THE VAKHSH BASIN OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

**Key words:** anthracite, filtrant, sorbent, strength, porosity, deep purification, natural waters, reverse osmosis, ion exchangers.

The chemical composition of the waters of the Vakhsh River was analyzed using physicochemical methods, and high levels of chlorides (275 mg/L), sulfates (30.5 mg/L), total hardness (5.7 mg-eq/L), dry residue (283 mg/L), iron ions (0.043 mg/L), and copper (0.030 mg/L), compared to the waters of the Varzob River were found. From raw anthracite of the Nazaraylok deposit in the Rasht Valley of the Republic of Tajikistan, a sorbent with high technical characteristics and a water sorption capacity of 0.358 cm<sup>3</sup>/g was obtained by carbonization and activation with a mixture of  $N_2+CO_2+steam$ , suitable for deep purification of the Vakhsh River waters as well as for the purification of water from heavy metal ions. The kinetics of gas release -  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  - during anthracite carbonization were studied. It was shown that the rate of  $H_2$  release at  $t = 900^{\circ}C$  is 190 mL/min, and  $CO_2$  - 2.0 mL/min. For deep purification of the source water to obtain distillate, a three-stage scheme is proposed: adsorption with activated anthracite – reverse osmosis (hyperfiltration) – ion exchange (with granular cation and anion exchangers). The steam obtained from such distillate is harmless to the metal structures of CHP boiler units, pipes, as well as economizers and steam superheaters of chemical equipment. Limits have been established for the saturation of the surfaces of sorbents, ion exchangers, and reverse osmosis membranes, where it becomes necessary to regenerate and clean them of all kinds of deposits formed during the sorption process. After processing 500 m<sup>3</sup> of raw water, all elements of the three-stage purification system must be regenerated. It has been established that in order to obtain water for domestic and drinking purposes from the Vakhsh River, it is sufficient to filter it through a layer of activated anthracite.

### Введение

Для уменьшения жесткости и обессоливания применяют разные методы: ионный обмен, дистилляция, электродиализ, обратный осмос (гиперфильтрация), вымораживания, а для удаления коллоидных и взвешенных частиц используют фильтрацию и др.

Следует отметить, что до 2024 г. во всем мире насчитывались более 20000 опреснительных установок (ОУ) производительностью более 900 тыс. м<sup>3</sup>/сутки разных типов. В мире также имеется 6 самых мощных опреснительных станций, м<sup>3</sup>/сутки: Рас-Эль-Хайр (СА) – 1036000, Тавилах (ОАЭ) 909200, Шуайба 3(СА) – 880000, Израиль – 624000, Рабиг 3 (СА) – 600000, Фуджейра 2 (ОАЭ) – 591000 [1]. На долю мембранных опреснительных установок приходится 33%, обратно-осмотических – 23% и на установки электродиализа – 10%. Опресненная вода в основном используется для

коммунального (60%) и промышленного (19%) водоснабжения, в энергетике – 6%. В меньшей степени опреснение используется в сельском хозяйстве при минерализации сбросных дренажных вод и очистке сточных вод -7% [2-9].

В [5-12] приведены удельные технико-экономические показатели (ТЭП) (себестоимость, капитальные и приведенные затраты, расход топлива и электроэнергии), характеризующие материальные и энергетические затраты на производство 1 м<sup>3</sup> воды на опреснительных установках разного типа. Представлена структура капитальных и эксплуатационных затрат на опреснение воды разными методами и описаны состояние и перспективы развития опреснительной техники.

Выбор метода опреснения обуславливается качеством очищаемой воды, производительностью установок и технико-экономическими соображениями.

Кроме дистилляции, которая осуществляется в выпарных и холодильных установках, не требуется тщательная предварительная водоподготовка, а в прочих методах для получения обессоленной воды коммунального и производственного назначения требуется предварительная водоподготовка. Так, например, перед ионным обменом используется мембрана или гранулированные иониты, электродиализ или обратный осмос. Воду необходимо предварительно очищать от коллоидных и взвешенных частиц, в противном случае, мембранны будут испытывать большие нагрузки и это повлияет на срок их службы. Предварительная очистка воды перед обессоливанием осуществляется фильтрующими материалами: кварцевым песком, мраморной крошкой, антрацитом и др.

Следует отметить, что в АОТ «Таджикхимпром» при подготовке рассола, после удаления из него ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , взвешенные и коллоидные частицы улавливались с помощью мраморной крошки, после чего очищенный рассол поступал на электролиз. Дело в том, что электролизёры работали с диафрагмой или с разделительной мембранный (катодное пространство отделялось от анодного пространства с помощью специальной перегородки).

Из литературы [13] известно, что применение антрацитовых фильтрантов в системах водоподготовки котлов (ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС, АЭС), очистки промышленных стоков на предприятиях химической, металлургической, пищевой, энергетике, горно-металлургическом комплексе позволяет достигать более качественного и эффективного очищения воды по сравнению с ранее используемой технологией.

Государственное унитарное предприятие Душанбе водоканал (ГУП «Душанбеводоканал») после механической очистки хозяйственнопитьевых вод (коагуляцией) применяет фильтрацию для очистки от взвешенных и коллоидных частиц. В качестве фильтранта используют кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ) крупностью от 1 до 3 мм с высотой слоя около 1000 мм.

Как показали ранние исследования [13] антрацитовый фильтрант более стоек к агрессивным средам, поэтому его можно использовать для фильтрации промежуточных продуктов в химическом производстве. Установлено [14], что использование антрацита с фракцией 3 - 5 мм для очистки сточных вод пищевой промышленности способствует снижению взвешенных частиц на 17%, органических примесей на 54 %, масел на 99%.

Использование ионитовых мембран в схемах очистки воды с целью удаления тонкодисперсных частиц весьма актуально. Применение антрацитов для этой цели позволяет снизить расход ионитов, облегчить их регенерацию. Современная мембранныя технология не может функционировать на должном уровне без высококачественной очистки воды от взвесей [15]. Автором [13] показана, что фильтры из антрацита почти в два раза легче чем традиционные фильтры из кварцевого песка, на 20% превышает гравиметрическую, а срок службы увеличивается в 2,5 раза.

Таким образом, для любого применяемого метода очистки воды с целью уменьшения жесткости и обессоливания сначала из воды необходимо удалить

коллоидные и взвешенные частицы антрацитовыми фильтрами, а также перед хлорированием хозяйственно-питьевой воды необходимо использовать фильтры из углеродного материала определенной фракции.

В Южно – Таджикский территориально промышленный комплекс входят крупные промышленные и энергетические предприятия: ОАО «АЗОТ», АО «Таджикхимпром», ООО «ТАЛКО Кемикал», Нурикская и Рогунская ГЭС, цементные заводы и прочие мелкие и средние промышленные предприятия. Все крупные промышленные предприятия и энергосистемы используют в основном воду реки Вахш. Средняя общая жесткость воды составляет 2 – 8 мг-экв/л. Каждое предприятие имеет свою систему водоподготовки. Следует отметить, что кроме предприятий энергосистемы другие промышленные предприятия указанного региона не могут проводить глубокую очистку воды для технологических и прочих нужд.

Цель настоящей работы заключается в исследовании возможности получения дистиллированной воды для получения пара, используемого в паровой турбине, предназначенного для выработки электроэнергии в ООО «ТАЛКО Кемикал» с применением антрацита месторождения Назарайлок Раштской долины Таджикистана.

Парогенератор в ООО «ТАЛКО Кемикал» имеет мощность 3 МВт и может обеспечивать до 60% от общего количества электропотребления ООО «ТАЛКО Кемикал». Очищенная вода подаётся в котел - утилизатор печи сжигания серы, где температура поднимается до 1050 °C. Соответственно температура сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ) достигает указанной величины. Благодаря котлу-utiлизатору температура  $\text{SO}_2$  понижается до 400 °C. Образующиеся пар имеет давление около 4,0 МПа и температуру 400 – 450 °C. Далее, после РОУ, пар подаётся в паротурбину для выработки электроэнергии.

## Методика эксперимента

Эксперимент осуществлялся по следующей схеме: механическая очистка воды активированным углем, далее обратным осмосом, доочистка - ионным обменом (гранулированные иониты), с получением дистиллированной воды. Активацию антрацита проводили согласно методике, описанной в [16], с той разницей, что остаточная летучесть после карбонизации составляла не более 0,5% (масс.). Ранее исследовались технические характеристики и качественные показатели антрацитов применительно к сорбционным материалам согласно межгосударственным стандартам [17]. Прочность зёрен антрацитов определяли методом Сыскова К.И. [18]. Общее содержание золы в исследуемом антраците определяли согласно ГОСТ 11022-95. Для уменьшения золы в исходном антраците, последний обрабатывали соляной кислотой (10 % по массе) в течение 60 мин при температуре 60 – 70 °C.

Количество микропримесей определяли с помощью прибора Спектроскан МАКС – GV, а макропримеси - химическими методами.

Исходный антрацит месторождения Назарайлок был отобран на участке «Кафтархона» и после дробле-

ния имел фракционный состав, зольность и прочие технические характеристики, сведенные в таблицу 1. После солянокислотной обработки содержание золы

уменьшается, а качественные показатели незначительно изменяются.

**Таблица 1 – Качественные показатели антрацита в зависимости от гранулометрического состава до и после кислотной обработки**

**Table 1 – Qualitative indicators of anthracite depending on the granulometric composition before and after acid treatment**

№№ п.п.	Размер фракций, мм	Зольность, %	Насыпной вес, г/см <sup>3</sup>	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	Измельчае- мость, %	Прочность на истирание, %	Сера, %
1	-5,0+3,0	3,017/1,442	0,650/0,620	1,30/1,29	1,72/1,70	3,00/2,98	0,18/0,16	0,19/0,20
2	-3,0+2,0	3,360/1,521	0,700/0,680	1,31/1,30	1,73/1,71	3,15/3,00	0,17/0,16	0,20/0,21
3	-2,0+1,0	3,691/2,435	0,734/0,729	1,32/1,30	1,74/1,72	3,45/3,41	0,20/0,18	0,22/0,21
4	-1,0+0,5	3,726/2,647	0,750/0,741	1,30/1,28	-	4,18/4,10	0,25/0,24	0,25/0,24
5	-0,5+0,2	8,406/3,335	0,815/0,802	1,31/1,29	-	5,10/5,00	0,34/0,32	0,30/0,29

В таблице 2 приведены результаты спектрального и химического анализов микро, и макропримесей антрацита до и после кислотной обработки. Для анализа были взяты пробы №2,3 с усреднёнными значениями зольности до и после кислотной обработки

(см. табл. 1): до кислотной обработки 3,52 после обработки -2,15% (массе). Данная фракция (1-3) мм в основном используется при водоподготовке.

**Таблица 2 – Результаты химического и спектрального анализа на макро и микропримеси исследованного антрацита**

**Table 2 – Results of chemical and spectral analysis of macro and micro impurities of the studied anthracite**

Макропримесь, % (масс.)				Микропримесь, % (масса)			
до кислотной обработки				до кислотной обработки		после кислотной обработки	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ΣCaO и ΣMgO	Pb	7,152 · 10 <sup>-3</sup>	Pb	6,981 · 10 <sup>-3</sup>
38,73	2,88	14,55	3,05	Sr	1,495 · 10 <sup>-2</sup>	Sr	1,282 · 10 <sup>-2</sup>
после кислотной обработки				Zn	7,935 · 10 <sup>-2</sup>	Zn	7,324 · 10 <sup>-2</sup>
37,65	1,93	15,00	2,82	As	1,295 · 10 <sup>-2</sup>	As	1,051 · 10 <sup>-2</sup>
-	-	-	-	Ni	7,851 · 10 <sup>-2</sup>	Ni	7,336 · 10 <sup>-2</sup>
-	-	-	-	Cu	2,462 · 10 <sup>-3</sup>	Cu	2,134 · 10 <sup>-3</sup>
-	-	-	-	Cr	1,392 · 10 <sup>-2</sup>	Cr	0,987 · 10 <sup>-2</sup>
-	-	-	-	Co	6,982 · 10 <sup>-3</sup>	Co	6,455 · 10 <sup>-3</sup>
-	-	-	-	V	6,553 · 10 <sup>-2</sup>	V	6,324 · 10 <sup>-2</sup>
-	-	-	-	Ti	3,945 · 10 <sup>-1</sup>	Ti	3,723 · 10 <sup>-1</sup>
-	-	-	-	Mg	2,061 · 10 <sup>-2</sup>	Mg	1,846 · 10 <sup>-2</sup>

Как видно из таблицы 1 после кислотной обработки общее содержание золы уменьшается в среднем на 52,20% (масс) для фракции (-5,0+3,0) мм, а для фракций от 1 до 3 мм уменьшается в среднем 44,38 % (масс.). Естественно, чем меньше фракция тем зольность увеличивается, - это хорошо видно для фракции (-0,5 + 0,2) мм. Это также наблюдается и для микропримесей, их уменьшение связано с растворимостью в минеральных кислотах.

Другими важными характеристиками антрацита считается прочность и истираемость. В данной работе использовали метод Сыкова К.И. [18] где класс зёрен составлял 5-25 мм. Если кокс или антрацит имеет кажущийся вес, равным 1, приняв для классов 5-25, 3-5, 1-3, 0-1 мм значения средних диаметров, соответственно, 15; 4; 2; 0,5 мм, можно определить поверхность (S') по формуле предложенной в [18].

$$S = 4a_1 + 15a_2 + 30a_3 + 120a_4$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4$ , выход классов кокса в граммах с размером кусков; 5-25, 3-5, 1-3, 0-1 мм.

Прочность зёрен (фракций) определяется по формуле [18],

$$\Pi = \frac{300000}{S - 100}$$

где  $S$  - поверхность кусков, см<sup>2</sup>; 300000 - работа разрушения кокса (антрацита), г/см; 100- поверхность испытуемой навески, см<sup>2</sup>.

Для определения прочности берут 25 г навески класса 5-25 мм.

Для исходного антрацита после раздавливания получили следующий выход;

$$a_1 = 16,5 \text{ г}; a_2 = 3,5 \text{ г}; a_3 = 2,5 \text{ г}; a_4 = 2 \text{ г}$$

отсюда

$$S = 4 \cdot 16,5 + 15 \cdot 3,5 + 30 \cdot 2,5 + 120 \cdot 2 = 433,5 \text{ см}^2$$

$$\Pi = \frac{300000}{433,5 - 100} = 900 \text{ г/см}$$

Таким образом, прочность зёрен антрацита месторождения Назарайлек, составляет 900 г/см. Данная

величина свидетельствует, что антрацит месторождения Назарайлек ближе к коксам и вполне пригоден для производства сорбентов.

Представляет интерес исследование скорости обезлущивания антрацита при карбонизации. Следует отметить, что среднее содержание летучих компонентов в антрацитах месторождения Назарайлек составляет 8,5% (масс.).

На рис. 1 приведена кинетика выделения отдельных составляющих компонентов при термообработке сырого антрацита.

Как видно из рис. 1 при температуре 350-400 °C полностью испаряется адсорбированная и кристаллизационная вода, далее, начиная с 500 °C начинается выделения компонентов газовой смеси вследствие разложения летучих веществ. Максимальное выделение CO<sub>2</sub> наблюдается при температуре 600 °C и завершается при 900 °C при скорости около 2,0 мл/мин. В тоже время, с повышением температуры выделение H<sub>2</sub> непрерывно растет и при температуре 900 °C скорость достигает почти 190 мл/мин. Выделение CO и CH<sub>4</sub> занимает промежуточное положение, при 900 °C скорость их выделения стабилизируются. Скорость выделения этих летучих компонентов составляют 9,0 и 40,0 мл/мин., соответственно.

Химический состав смеси газов при карбонизации антрацита таков, % (масс.): H<sub>2</sub>-70,0; CO<sub>2</sub>-9,2; CH<sub>4</sub>-5,8; CO-1,5. Далее карбонизированный антрацит термообрабатывался при 1000 °C в течение 15 и 30 мин. Остаточная летучесть не превышала 0,50% (масс.).

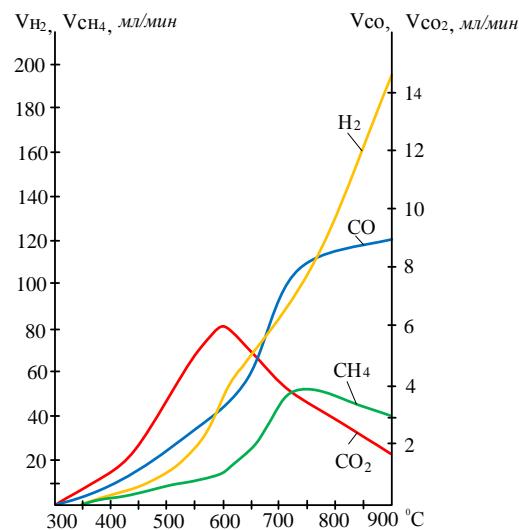
**Таблица 3 – Технические характеристики карбонизированного и активированного антрацита при температуре 1000 °C**

**Table 3 – Technical characteristics of carbonized activated anthracite at a temperature of 1000 °C**

№ вар.	Вид обработки	τ <sub>обр.</sub> , мин	d <sub>нас.</sub>	∞ <sub>обг.</sub> , %	Прочность (П), %	Суммарный объем пор по воде (V <sub>r</sub> ), см <sup>3</sup> /г
1	Исходный антрацит	-	0,800	-	89,00	0,082
2	Карбонизация	30	0,796	13,05	90,55	0,096
3	Карбонизация	60	0,765	14,23	90,12	0,122
4	Карбонизация	90	0,750	14,55	90,00	0,126
5	Карбонизация	120	0,755	14,60	89,57	0,127
6	Карбонизат + CO <sub>2</sub>	90	0,750	15,45	89,15	0,131
7	Карбонизат + CO <sub>2</sub>	120	0,743	16,10	87,46	0,138
8	Карбонизат + CO <sub>2</sub>	150	0,740	17,28	87,13	0,139
9	Карбонизат + CO <sub>2</sub> + пар	90	0,721	18,45	86,34	0,234
10	Карбонизат + CO <sub>2</sub> + пар	120	0,700	19,18	85,41	0,325
11	Карбонизат + CO <sub>2</sub> + пар	150	0,685	20,43	85,10	0,330
12	Карбонизат + N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + пар	90	0,634	19,22	86,25	0,342
13	Карбонизат + N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + пар	120	0,615	19,48	86,40	0,355
14	Карбонизат + N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + пар	150	0,600	19,50	86,62	0,358

Примечание: d<sub>нас.</sub> – насыпная плотность, ∞<sub>обг.</sub> – степень обгара, П – прочность при испарение на испарителе с помощью стальных шаров в течение 30 мин.

Как видны из таблицы 3 оптимальное время карбонизации составляет 90 мин. За это время все летучие компоненты сгорают почти полностью. Оптимальные параметры активации карбонизата достигнуты при следующем режиме: время – 120 мин с продувкой CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> + пар и полученный сорбент имеет



**Рис. 1 – Влияние температуры на скорость обезлущивания антрацита**

**Fig. 1 – Effect of temperature on the rate of anthracite devolatilization**

Далее из карбонизированного антрацита при 1000 °C изготавливали сорбенты (активированные угли) при различных режимах (условиях), и определяли их технические характеристики (см табл. 3).

суммарный объем пор по воде 0,355 см<sup>3</sup>/г со степенью обгара – 19,48% (масс.). Исходя из данных таблицы 3 антрацит, обработанный по варианту 13, был использован в качестве сорбента при очистке воды реки Вахш. Результаты физико-химического анализа

воды до и после сорбции, обратного осмоса и ионного обмена приведены в таблице 4. Анализ воды производился в центральной лаборатории «Государ-

ственного унитарного предприятия определению качества производимой воды (ЦЛПОКПВ ГУП) Душанбе водоканал».

**Таблица 4 – Результаты физико-химического анализа воды реки Вахш до и после очистки**

**Table 4 – Results of the physicochemical analysis of the Vakhsh River water before and after purification**

№	Показателей	Норма по ГОСТу 2874-82 «Вода питьевая»	Исходная вода	После активиров. антрацита	После обратного осмоса	После ионного обмена
1	Прозрачность (см <sup>3</sup> )	не < 30	30	30	30	30
2	Мутность (мг/л)	не > 2,0	0	0	0	0
3	Температура, °С	не > 20	17	17	18	18
4	Запах, (баллы)	не > 2,0	0	0	0	0
5	Привкус, (баллы)	не > 2	0	0	0	0
6	Водородный показатель (рН)	6,0-9,0	7,2	7,0	7,0	6,8
7	Жесткость (мг. экв/л)	не > 7,0	5,7	1,85	0,6	0,00
8	Кальций (мг. экв/л)	-	4,25	1,8	1,0	0,00
9	Магний (мг. экв/л)	-	1,45	0,9	0,5	0,00
10	Сумма K+Na (мг. экв/л)	-	8,37	6,8	2,0	0,00
11	Сульфаты (мг/л)	не > 500	30,5	28,0	3,5	0,00
12	Сухой остаток (мг/л)	не > 1000	283	170	2,8	0,00
13	Аммиак, (мг/л)	2,0	н/об	н/об	н/об	0,00
14	Нитриты (мг/л)	3,0	н/об	н/об	н/об	0,00
15	Нитраты (мг/л)	не > 45,0	12,0	10,0	2,0	0,00
16	Щелочность (мг. экв/л)	-	2,0	1,8	1,2	0,00
17	Хлориды (мг/л)	не > 45	275	45,5	6,6	0,00
18	Остаточный хлор (мг/л)	0,3-0,5	-	-	-	-
19	Железо (мг/л)	не > 0,3	0,043	0,00	0,00	0,00
20	Медь (мг/л)	не > 1,0	0,030	0,00	0,00	0,00
21	Окисляемость	не > 5,0	1,1	0,9	0,5	0,00
22	Алюминий (мг/л)	не > 5,0	-	-	-	-

Как видно из таблицы 4 показатели воды реки Вахш отличаются от таковых воды реки Варзоб [19] по следующим параметрам: общая жесткость – 5,7 мг-экв/л, сумма (K+Na) – 8,37 мг-экв/л, сухой остаток – 283 мг/л, хлориды – 275 мг/л, Fe – 0,043 мг/л, Cu – 0,030 мг/л, т.е. указанные показатели воды реки Вахш больше таковых реки Варзоб [20]. Как уже отмечалось, ООО «ТАЛКО Кемикал» использует воду реки Вахш. Кроме того население Яванского района также используют эту воду из общих отстойников. Периодически в отстойники вводят коагулянт  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  для осаждения взвешенных частиц малорастворимых соединений.

Следует отметить, что после ввода коагулянта в воде остаются взвешенные и коллоидные частицы, микроорганизмы, бактерии. Необходимо улучшить токсикологические, а также органолептические показатели воды. Для получения дистиллированной воды очищенную воду от механических и других ингредиентов доочищали обратным осмосом, а также ионным обменом. Результаты приведены в таблице 4. Технологическая схема получения дистиллированной воды приведена на рис. 2. Она состоит из ёмкостей, заполненных активированным антрацитом, со-

держит пучок труб с фильтрующими тканями (обратный осмос), гранулированные ионообменники (катионитовые и анионитовые), а также баки с растворами регенерации ионообменников, очистки мембран обратного осмоса и горячий слабый раствор поваренной соли для регенерации антрацитового сорбента. Для предотвращения коррозии металлических труб, конструкций использовали ингибитор коррозии MSIG – 405, для очистки мембран обратного осмоса флокулянт – NP – 102, восстановитель – TCL603, бактерицид ZS – 404. Для регенерации ионообменников использовали растворы  $H_2SO_4$  – 30% (масс.) и  $NaOH$  – 30% (масс.). Регулирование pH производили раствором  $NH_4OH$ , а в качестве антисалипациющего агента применяли лимонную кислоту или реагент KHMIBERRY – 838.05. Эксперименты проводили на участке обессоливания воды производства серной кислоты ООО «ТАЛКО Кемикал», расположенного в г. Яване Хатлонской области Республики Таджикистан. Грязные регенерированные и отмывочные растворы накапливали в специальной приемке, затем перекачивали в шламонакопитель, а очищенная и обессоленная вода в виде дистиллята подавалась для утилизации тепла печи сжигания серы производства серной кислоты. Далее, полученный пар с температурой

400 – 450 °C и давлении 3,8 – 4,0 МПа поступал в РОУ (редукционно-охладительное устройство) с целью понижение температуры и давления. Затем после РОУ пар с температурой 350 – 360 °C и давлении 3,5

МПа подавался в паротурбины для выработки электроэнергии. Мощность парогенератора составляла 3 МВт, что полностью может обеспечить потребность в электроэнергии производство серной кислоты проектной мощности 130 тыс. т/год.

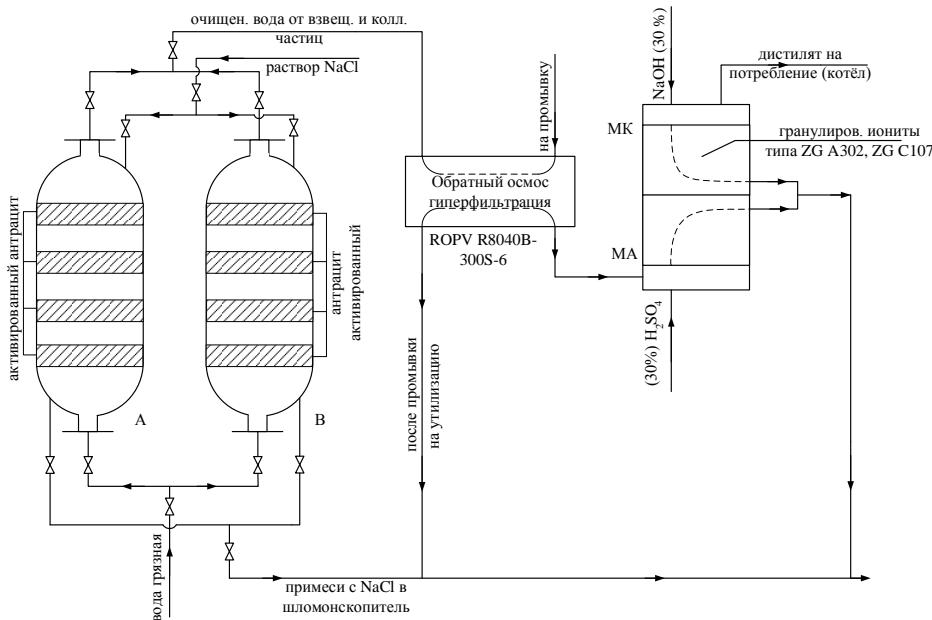


Рис. 2 – Комбинированная схема очистки вод реки «Вахш» ионообменниками с применением активированного антрацита в сочетании обратного осмоса

Fig. 2 – Combined scheme for water purification in the Vakhsh River using ion exchangers with activated anthracite in combination with reverse osmosis

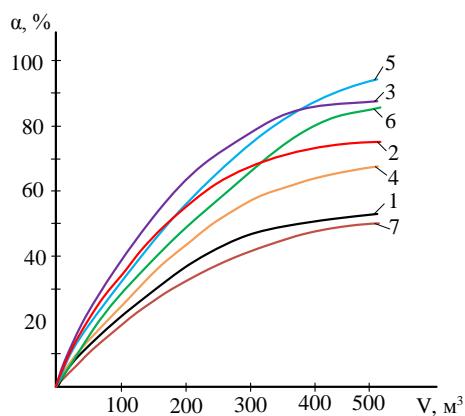


Рис. 3 – Зависимость степени поглощения (α) ингредиентов от количества пропущенной сырой воды (V). 1, 2 – изменение жесткости после сорбента и обратного осмоса; 3, 4 – изменение содержания сульфатов после сорбента и обратного осмоса; 5, 6 – изменение суммы ионов  $K^+ + Na^+$  после обратного осмоса; 7 – изменение содержания нитратов после обратного осмоса

Fig. 3 – Dependence of the degree of absorption (α) of ingredients on the amount of passed raw water (V). 1, 2 – change in hardness after the sorbent and reverse osmosis; 3, 4 – change in the content of sulfates after the sorbent and reverse osmosis; 5, 6 – change in the sum of  $K^+ + Na^+$  ions after reverse osmosis; 7 – change in the content of nitrates after reverse osmosis

Далее были определены периодичность регенерации активированного угля, мембран обратного осмоса, а также ионитов (см. рис. 3). На рисунке 3 показаны кривые изменения качественных показателей очищаемой воды от количества пропущенной сырой воды.

Как видно из рис. 3 через каждые 500 – 600 м<sup>3</sup> пропущенной исходной воды возникает необходимость в регенерации сорбента, мембран обратного осмоса и ионитов, т.к.

### Заключение

Как показали физико-химические методы анализа, вода реки Вахш по своему химическому составу несколько отличается от химического состава вод реки Варзоб – более высокая концентрация хлоридов, сульфатов, солей жесткости, а также – ионов железа и меди. Кроме того, превышена концентрация ионов  $K^+$  и  $Na^+$ .

Для получения дистиллированной воды из вод реки Вахш с целью производства пара энергетического назначения в котлах ТЭЦ, АЭС, ГРЭС, утилизаторов тепла в котлах химических аппаратов, необходимо очищать сырую воду по схеме, приведенной на рис. 2.

Установлен предел насыщения поверхности адсорбентов и мембран обратного осмоса, где возникает необходимость в регенерации и очистке их от всевозможных отложений образующихся в процессе сорбции. Из продуктов регенерации путем переработки можно получить, например, флюсы, используемые в металлургии.

## Литература

1. <https://valten.ru/knows/water-desalination>.
2. Ф.Н. Карелин, А.А. Аскерния, А.С. Джафаров. Всесоюзной конференции по мембранным методам разделения смесей. 27–29 мая 1987 г. – М.: 4, 22–23, 1987.
3. В.Д. Гребенюк, А.А. Мазо. Обессоливания воды ионитами. М.: Химия, 1980. 254 с.
4. Л.К. Архангельский, Ф.А. Белинская, А.И. Волжинский и др. Иониты в химической технологии / под ред. Б.П. Никольского, П.Г. Романкова. – М.: Химия, 1985. 415 с.
5. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения, Госстрой СССР. – М.: 1985. 136 с.
6. Л.А. Кульский, В.Д. Гребенюк, О.С. Савлук. Электрохимия в процессах очистки воды. Киев, Техника, 1987.
7. В.Н. Смагин. Обработка воды методом электродиализа. – М.: Стройиздат, 1986.
8. Ю.Н. Головенко, Ю.И. Ефимов, Н.Х. Мавлянов. Основные параметры области применения обратного осмоса для очистки воды. Современные высокоеффективные методы очистки воды. – М.: Моск. док науч. – техн. пропаганды, 4–8, 1984.
9. В.М. Мухин, П.В. Учанов, Н.И. Сотникова. Сорбционные и хроматографические процессы. **13**, 1, 83–90 (2013).
10. А. Муродиён, А.Г. Сафаров, Ф. Холмуродов и др. Материалы 7-ой межд. конф. Современные проблемы физики. ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана, Душанбе, 238–242, 2020.
11. New water source for Middle East, 18, 101-103, 1983.
12. М.В. Колодин. Водоснабжение и санитарная техника, 2, 3-6, 1980.
13. Ю.И. Кураков. Сырьевая база антрацитов Российского Донбасса для производства углеродных материалов. Дисс. докт. техн. наук. – М.: 2005. 259 с.
14. И.С. Торочешников. Методы исследования в технической адсорбции. – М.: МХТИ, 1977. 80 с.
15. <http://www.cement.ukrbiz.net>.
16. Б.С. Джамолзода, Н.Ю. Пулодов, А. Муродиён, Н.С. Кароматуллаева. Вестник казанского технологического университета, **27**, 7, 79-85 (2024). DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_7\_79.
17. А. Муродиён, Н.Ю. Пулодов, Б.С. Джамолзода, О.Х. Одиназода. Вестник казанского технологического университета, **26**, 6, 40-44 (2023). DOI: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_6\_40.
18. К.И. Сысков. Известия ОТНАН СССР. 13, 10, 1202-1205 (1983).
19. Н.Ю. Пулодов, Б.С. Джамолзода, А. Муродиён, А.Г. Сафаров, Х. Сафиев. Вестник филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, **1**, 1(21), 71-77 (2022).
20. Н.Ю. Пулодов, Б.С. Джамолзода, А. Муродиён, и др. Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. Водные ресурсы, энергетика и экология, Душанбе, 157-162, 2021.

© А. Ш. Муродиён – д.т.н., доцент, зам. дир. по науке ГУ НИИ «Металлургия» ОАО «ТАЛКО», Душанбе, Таджикистан; Н. Ю. Пулодов – соискатель, Физико – технического институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан, Nuriddin\_95@mail.ru; Б. С. Джамолзода – к.т.н., доцент каф. «Электроснабжение» Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан, behruz\_5014@mail.ru.

© A. Sh. Murodiyon – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Associate Professor, Deputy Director in Science State Research Institute "Metallurgy" JSC "TALKO", Dushanbe, Tajikistan; N. Yu. Pulodov - Applicant of the "Physico-Technical Institute. S.U. Umarov National Academy of Sciences of Tajikistan", Dushanbe, Tajikistan, Nuriddin\_95@mail.ru; B. S. Jamolzoda – PhD (Technical Sci.), Associate Professor of the Department. "Electricity", Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan, behruz\_5014@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 03.12.25.  
Дата принятия рукописи в печать – 18.01.26.

## References

1. <https://valten.ru/knows/water-desalination>
2. F.N. Karelin, A.A. Askernia, A.S. Dzhafarov. All-Union Conference on Membrane Methods of Separating Mixtures. May 27–29, 1987. – Moscow: 4, 22–23, 1987.
3. V.D. Grebenyuk, A.A. Mazo. Water Desalination with Ion Exchangers. Moscow: Chemistry, 1980. 254 p.
4. L.K. Arkhangelsky, F.A. Belinskaya, A.I. Volzhinsky, et al. Ion Exchangers in Chemical Technology / edited by B. P. Nikolsky, P. G. Romankov. – Moscow: Chemistry, 1985. 415 p.
5. SNIП 2.04.02-84. Water Supply. External Networks and Structures, USSR Gosstroy. Moscow: 1985, 136 p.
6. L.A. Kul'skiy, V.D. Grebenyuk, O.S. Savluk. Electrochemistry in Water Purification Processes. Kyiv: Tekhnika, 1987.
7. V.N. Smagin. Water Treatment by Electrodialysis. Moscow: Stroyizdat, 1986.
8. Yu.N. Golovenko, Yu.I. Efimov, N. Kh. Mavlyanov. Main Parameters of Reverse Osmosis Application for Water Purification. Modern Highly Efficient Water Purification Methods. Moscow: Mosk. Doc. Sci. – Tech. Propaganda, 4–8, 1984.
9. V.M. Mukhin, P.V. Uchanov, N.I. Sotnikova. Sorption and Chromatographic Processes. **13**, 1, 83-90 (2013).
10. A. Murodiyon, A.G. Safarov, F. Kholmurodov, et al. Proceedings of the 7th Int. Conf. Modern Problems of Physics. S.U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, 238-242, 2020.
11. New water source for Middle East, 18, 101-103, 1983.
12. M.V. Kolodin. Water Supply and Sanitation, 2, 3-6, 1980.
13. Yu.I. Kurakov. Anthracite Raw Material Base of the Russian Donbass for the Production of Carbon Materials. Diss. Doctor of Engineering Sciences. – Moscow: 2005. 259 p.
14. I.S. Torocheshnikov. Research Methods in Technical Adsorption. Moscow: Moscow Chemical Technology Institute, 1977, 80 p.
15. <http://www.cement.ukrbiz.net>
16. B.S. Dzhamalzoda, N.Yu. Pulodov, A. Murodiyon, N.S. Karomatullaeva. Herald of Technological University, **27**, 7, 79-85 (2024). DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_7\_79.
17. A. Murodiyon, N.Yu. Pulodov, B.S. Dzhamalzoda, O.Kh. Odinazoda. Herald of Technological University, **26**, 6, 40-44 (2023). DOI: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_6\_40.
18. K.I. Syskov. Izvestiya OTNAN SSSR. 13, 10, 1202-1205 (1983).
19. N.Yu. Pulodov, B.S. Jamolzoda, A. Murodiyon, A.G. Safarov, H. Safiev. Bulletin of the branch of Moscow State University named after M.V. Lomonosov in Dushanbe, **1**, 1(21), 71-77 (2022).
20. N.Yu. Pulodov, B.S. Jamolzoda, A. Murodiyon, et al. Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Water resources, energy and ecology, Dushanbe, 157-162, 2021.