

Об одной особенности подводного газового взрыва. — В кн.: Физика горения и взрыв. Новосибирск, 1976, № 4, т. 12, с. 610—614. 4. Б о б б е р Р. Гидроакустические измерения. — М., 1974. — 359 с. 5. Л о г и н о в В.Н. Электрические измерения механических величин. Изд. 2-е, доп. — М., 1976. — 104 с. 6. Б о н д а р е н к о С.И. Пьезоэлектрический датчик для измерения параметров ударных волн в диапазоне давлений ниже 500 МПа. — Тез. докл. 11-го Всесоюзн. симпозиума по импульсным давлениям. — М., 1976, с. 6—7.

УДК 628.543.192

Т.М.ХМЕЛЬНИЦКАЯ, П.П.СТРОКАЧ, канд. техн.  
наук (БИСИ), Р.В.ДРОНДИНА, А.М.РОМАНОВ,  
канд-ты хим. наук (ИФ АН МССР)

## ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕЛЕНА

Селен относится к числу элементов, строго нормируемых ГОСТ 2874—82 "Вода питьевая" (не более 1 мг/л). Имеющиеся данные по геохимии селена в подземных водах [1—4] указывают на то, что решающий фактор, определяющий его распределение в воде и почве, — это значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Так как он является неустойчивой величиной, для подземных вод характерно наличие селена в химических соединениях с различной степенью окисления ( $\text{Se}^{2-}$ ,  $\text{SeO}_3^{2-}$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ ) в зависимости от Eh.

На организм человека очень незначительные концентрации селена действуют целебно. Увеличение же его дозы неблагоприятно влияет на живой мир [1, 5, 6].

До настоящего времени природные подземные воды с повышенным содержанием селена не являлись предметом исследований. В литературе отсутствуют сведения о технологии очистки селеносодержащих вод. Существующая технология требует применения дорогих селективных ионообменных материалов или достижения чрезвычайно низких значений pH, что приводит к необходимости использования громоздкого реактивного хозяйства и коррозионно-устойчивого оборудования [7—8]. Применение существующей технологии особенно затруднительно для обеспечения питьевой водой небольших автономных объектов.

Нами исследована возможность применения электрокоагуляции (ЭК) с последующим отделением коагулянта электрофлотацией (ЭФ) для очистки подземных вод от селена [9].

Опыты проводились на опытной установке (рис. 1) с использованием подземной воды, содержащей 500 мг/л  $\text{Cl}^-$ -ионов, до 100 мг/л  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионов, 150 мг/л  $\text{HCO}_3^-$ -ионов, 20 мкг/л общего селена. Через электролизер пропускали 20 л/ч изучаемой воды, расход ее контролировался ротаметром. Опыты проводились при различных значениях плотности тока, pH обрабатываемой жидкости и исходных концентраций  $\text{Se}^{2-}$ ,  $\text{SeO}_3^{2-}$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ . Степень очистки оценивали по изменению концентрации селена в исходной и обработанной воде, одновременно контролировалось изменение pH. Концентрацию селена в воде определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (порог чувствительности — 0,1—0,2 мкг/л).

С целью выбора оптимальных параметров процесса очистки воды от селена исследовалось воздействие рН, плотности тока и исходной концентрации селена на эффект очистки (рис. 2). Анодом служил стальной электрод (марка стали Ст-3).

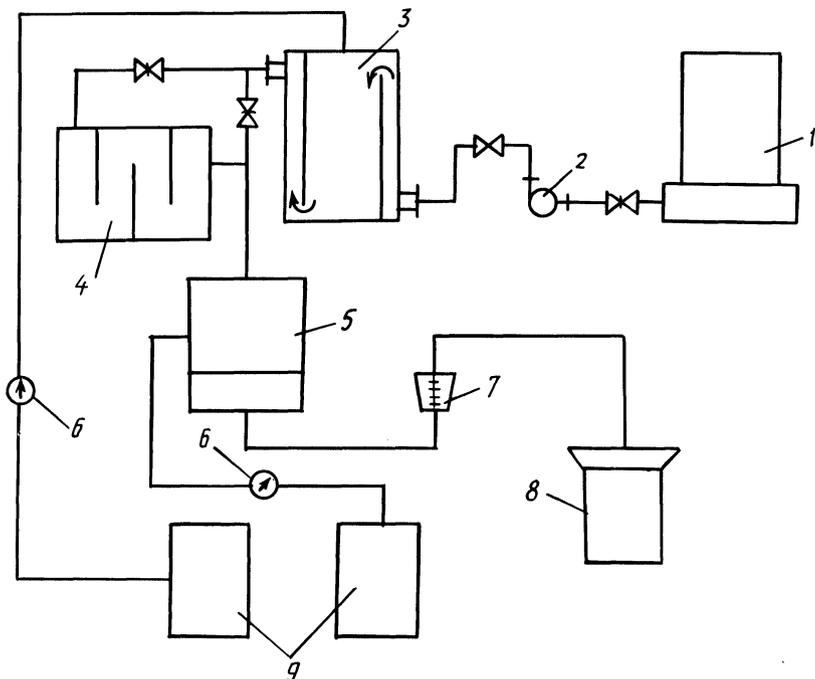


Рис. 1. Схема лабораторной установки для проведения исследований по разработке методов очистки:  
 1 — емкость с исходной водой, 2 — насос, 3 — электрокоагулятор, 4 — камера реакции, 5 — электрофлотатор, 6 — амперметр, 7 — ротаметр, 8 — емкость для отбора проб, 9 — источник питания.

Выделяемое при анодном растворении материала электрода железо связывает селен в плохо растворимые соединения ( $\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)_3$ ,  $\text{FeSe}$ ), которые адсорбируются на электрогенерированном коагулянте. Так как  $\text{SeO}_4^{2-}$ -анион не образует с железом нерастворимых соединений, по нашему мнению, механизм его удаления носит чисто адсорбционный характер.

Анализируя полученные данные, мы установили следующее. При наличии в воде селена в форме  $\text{Se}^{2-}$  эффективная очистка до ПДК происходит в процессе ЭК с железными электродами при плотности тока  $i = 0,1 \div 0,2 \text{ А/дм}^2$ ,  $\text{pH} = 7 \div 8$ ; для вод, содержащих  $\text{SeO}_3^{2-}$ , оптимальные параметры очистки получены при ЭК с биполярным подключением железных электродов ( $i = 0,4 \div 0,6 \text{ А/дм}^2$ ,  $\text{pH} = 5,5 \div 6,5$ ). В этих условиях растворение материала анода сопровождается его окислением до  $\text{F}^{3+}$ , что благоприятно сказывается на эффекте очистки, так как  $\text{SeO}_3^{2-}$  образует нерастворимую соль только с

железом (III) и в кислой среде. Причем в доведении рН до ПДК обработанная вода не нуждается, так как на выходе из ЭК аппарата рН составляет  $6,8 \div 7,5$ . Если же селен содержится в воде в виде  $\text{SeO}_4^{2-}$  (что бывает крайне редко), для достижения требуемого эффекта очистки необходимо увеличить продолжительность контакта очищаемой воды с электрогенерированным при  $i = 0,4 \div 0,6 \text{ А/дм}^2$ , рН =  $8,0 \div 8,5$  гидроксидом железа (до 10–15 мин). С этой целью вода после электрокоагулятора поступает в камеру реакции одной из известных в практике водоподготовки конструкций.

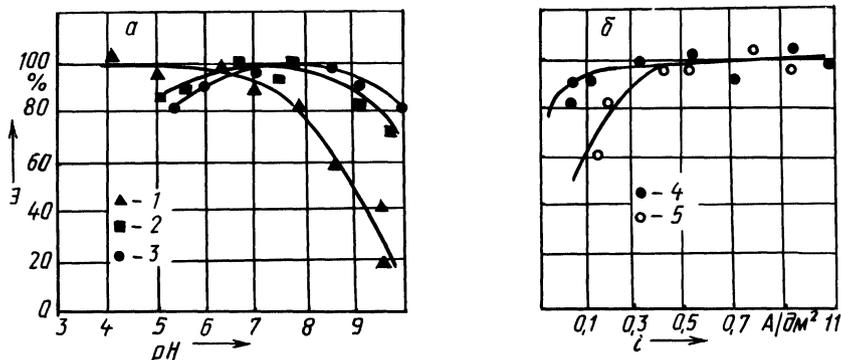


Рис. 2. Влияние рН (а) и плотности тока (б) на эффект очистки воды от селена ( $C_{\text{Se}}^{\text{исх}} = 10-30 \text{ мкг/л}$ ):

1 -  $\text{SeO}_3^{2-}$ ; 2 -  $\text{SeO}_4^{2-}$ ; 3, 4 -  $\text{Se}^{2-}$ ; 5 -  $\text{SeO}_3^{2-}$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ .

Методом электроосмоса определены значения электрокинетического потенциала  $\xi$  гидроксида железа (II) и (III), электрогенерированного в селеносодержащих подземных водах при различных значениях рН (рис. 3, б). Установлено, что  $\xi$  — потенциал рассматриваемого коагулянта при рН =  $7,0 \div 8,5$  равен или близок к нулю, чем и объясняется получение максимального эффекта очистки воды от селена при данном условии.

Разрабатываемые технологические схемы очистки подземных вод от селена предполагается использовать при обеспечении питьевой водой небольших объектов. В этой связи отделение коагулянта с адсорбированными на его поверхности осадками  $\text{FeSe}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)_3$  и  $\text{SeO}_4^{2-}$ -ионами рекомендуется производить в ЭФ аппарате: в разработанной нами схеме очистки воды от  $\text{SeO}_3^{2-}$  и  $\text{SeO}_4^{2-}$  — смесью электролизных газов; при очистке от  $\text{Se}^{2-}$  (во избежание окисления селенида железа) отделение осадка  $\text{Fe}(\text{OH})_2 - \text{FeSe}$  — электролизным водородом в катодной камере.

С целью выбора оптимальных параметров ЭФ изучено влияние плотности тока и рН на эффект извлечения осадка (до остаточной концентрации железа  $< 0,3 \text{ мг/л}$ , селена  $< 1 \text{ мкг/л}$ ) (рис. 3, а). Методом электроосмоса установлены значения адсорбционных потенциалов (рис. 3, б) для гидроксида железа (II) и (III), образующегося в процессе электрокоагуляционной очистки подземных вод определенного анионного состава от различных форм селена.

Полученные данные позволяют предположить, что нахождение селена в воде в различных формах и концентрациях (до 60 мкг/л) не влияет на величины  $\xi$ -потенциала рассматриваемого осадка. Процесс эффективного отделения коагулянта ЭФ рекомендуется вести при  $i = 0,4 \div 0,6 \text{ А/дм}^2$  и  $\text{pH} = 7,5 \div 8,5$ . При выборе интервала плотностей тока учитывалось обстоятельство, что при  $i > 0,6 \text{ А/дм}^2$  ухудшается гидродинамика процесса, а при  $i < 0,4 \text{ А/дм}^2$  количества выделяющихся электролизных газов недостаточно для эффективной флотации.

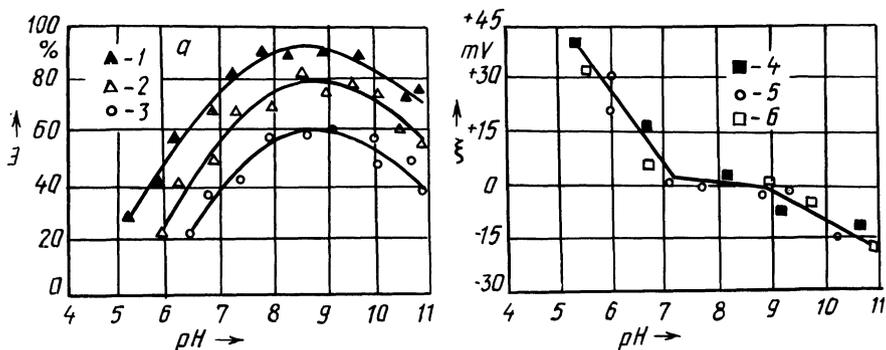


Рис. 3. Выбор оптимальных параметров ЭФ отделения осадка при различных плотностях тока (а):  
 1 -  $i = 0,08 \text{ А/дм}^2$ , 2 -  $i = 0,1$ , 3 -  $i = 0,4-0,6 \text{ А/дм}^2$  и электрокинетического потенциала  
 4 -  $\text{Se}^{2-}$ , 5 -  $\text{SeO}_4^{2-}$ , 6 -  $\text{Se}_2^{2-}$

Таким образом, применение электрохимических методов для очистки подземных вод от селена позволяет снизить его концентрацию до предельно допустимой. Разработанные технологические схемы, обеспечивающие эффективную очистку от селена, находящегося в химических соединениях с различной степенью окисления, позволили решить проблему рационального использования водных ресурсов в районах с повышенным его содержанием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П л е т н и к о в а И.П. К вопросу о содержании селена в подземных водах СССР. — Гигиена и санитария, 1972, № 5, с. 101–102.
2. К р а й н о в С.Р., Г у д з ь З.Г., З а к у т к и н В.П. Геохимия селена в подземных водах. — Геохимия, 1983, № 3 с. 359–374.
3. С и д е л ь н и к о в а В.Д. Некоторые вопросы водной миграции селена в пустынях. — В кн.: Очерки геохимии эндогенных процессов. М., Наука, 1966, с. 245–250.
4. К о в а л ь с к и й В.В. Биогеохимическая провинция Тувы. — Геохимия, 1967, № 1, с. 86–88.
5. E l l i o t G.E. Aspects of the analysis of selenium in Water Treatment Wastes. — Anal. Proc., 1981, 18, N 2, p. 64–67.
6. J e f f r e y T. Effects of sublethal Concentrations of Selenium on Metabolism and Filtration Rate of *Daphnia pulex*-Bull. Environ. — Conbam. and Toxicol, 1980, 24, N 6, p. 929–935.
7. M a r c h a n t W.N., D o n n e n b e r g R.O., B r o o k s P.T. Selenium removal from acidic waste water using zine reduction and lime neutralization.—Rept. Inwest. Bur. Mines. U.S. Dep. Inter, 1978, N 8312. — 9 p.
8. А.с. 891578 (СССР). Способ очистки сточных вод от селена/ А.З.Дикаревич, М.Н.Петрова. — Оpubл. в Б.И., 1981, № 47.
9. Х м е л ь н и ц к а я Т.М. О совершенствовании

УДК 628.33:621.762

В.З.ЧИРИКОВ, канд. техн. наук,  
Н.В.ХОЛОДИНСКАЯ, Л.П.ИВАНОВ,  
канд. физ.-мат. наук (БелКТИГХ)

## ВЫБОР ДИАМЕТРА ДИСКОВЫХ ПНЕВМОАЭРАТОРОВ

В настоящее время в нашей стране и за рубежом ведутся работы по созданию новых типов аэрационных элементов для систем мелкопузырчатой аэрации. Использование в качестве исходных порошков металлов и окисных систем, пористых синтетических материалов, картона и других видов сырья дает возможность изготавливать дисковые, трубчатые, купольные элементы, обладающие достаточно высокими прочностными и аэрационными характеристиками, а также создавать на их основе системы с развитой зоной аэрации, с дифференцированной подачей воздуха по длине аэротенка и т.д.

В ходе исследований, проводимых в БелКТИГХ с 1978 г., подтверждены преимущества плоских, в частности дисковых аэрационных элементов. Этот факт в отечественной практике до сих пор не учитывался. В связи с подготовкой к практическому применению дисковых пневмоаэраторов возникает необходимость обоснования выбора их диаметра для конкретных условий эксплуатации. Решение этой задачи возможно путем изменения: диаметров дисков при постоянном расстоянии между ними; расстояния между аэраторами при постоянном диаметре; одновременно обоих параметров.

В данном случае рассматривается первый вариант, наиболее соответствующий требованиям существующих норм проектирования.

По конструктивным соображениям, число аэрационных элементов ( $n_k$ ), устанавливаемых на 1 м аэротенка, может быть определено по формуле

$$n_k = \frac{Bf}{F(d+l)^2}, \quad (1)$$

где  $B$  — ширина коридора аэротенка;  $d$  — диаметр рабочей зоны аэрационного элемента;  $l$  — расстояние между рабочими зонами аэраторов;  $f$  — площадь аэрируемой зоны;  $F$  — площадь аэротенка.

Согласно существующим рекомендациям, для мелкопузырчатых аэраторов в площадь зоны аэрации входят просветы между элементами до 0,3 м, что способствует учету степени расширения восходящих водовоздушных потоков [1]. Восходящий от каждого аэрационного элемента поток принимает форму конуса с углом раскрытия  $\alpha = 10-12$  град. Для аэрационных элементов, погруженных на глубину 4—5 м, ширина дополнительной области распространения пузырьков составляет около 0,3 м [2].