

УДК 542.61.(546.799.4+546.791.6)

## Экстракционные равновесия в системах водно-экстракционной переработки уран-плутониевого топлива быстрых реакторов.

### Системы с кислотностью 0,15—1 М $\text{HNO}_3$

ВЕРЕЩАГИН В. Е., РЕНАРД Э. В.

В табулированном виде представлены полу-ченные изотермы ( $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ) распределения  $\text{HNO}_3$ , U (VI) (0—300 г/л), Pu (IV) (0,5—100 г/л в равновесных водных фазах) при экстракции их в 30%-ный раствор три-н-бутилфосфата в н-додекане из 0,15; 0,3; 0,5 и 1 М водных растворов азотной кислоты. Обсуждены и проанализированы выявленные закономерности соэкстракции макроконцентраций U (VI) и Pu (IV). Экспериментальные результаты обработаны и описаны эмпирическими формулами с погрешностью  $\pm (5 \div 7)\%$ .

Ранее [1,2] были в графическом виде проиллюстрированы основные закономерности процесса соэкстракции макроколичеств U (VI) и Pu (IV), а также представлена вся средняя статистическая количественная информация о распределении U (VI) (0—300 г/л), Pu (IV) (0—100 г/л в равновесной водной фазе) и  $\text{HNO}_3$  (2—4М в 30%-ный ТБФ в н-додекане), т. е. основных компонентов экстракционных систем, предназначенных для использования при регенерации топлива АЭС с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах. Полученные данные отвечают поведению компонентов на таких операциях экстракционной технологии, как соэкстракция урана и плутония из сильно-кислых сред и промывка экстракта сильной кислотой.

Система U — Pu —  $\text{HNO}_3$  — ТБФ — разбавитель исследована достаточно подробно [3—10], однако представленные количественные данные по экстракции Pu (IV), характеризующие величиной коэффициента распределения ( $E_{\text{Pu}}$ ), в большинстве работ получены для микроконцентраций плутония, т. е. в условиях, когда равновесная органическая фаза далека от насыщения металлом. Приведенные в работе [8] равновесные данные по экстракции макроконцентрации Pu (IV), в частности растворами ТБФ в синтине, малочисленны; не исключены искажения результатов экстракции Pu (IV) вследствие процессов его диспропорционирования в водной среде (концентрация плутония, по данным авторов [8], достигала 200—300 г/л при кислотности водной фазы 0,1 М) и расслоения органической фазы при концентрации плутония в ней свыше 40—60 г/л.

Информация по рассматриваемой системе содержится в работах [9] (исследованы диапазоны: кислотность 0,22—1,64 М, плутоний 0,7—6,2 г/л) и [10] (кислотность 0,62 М, плутоний 1—36 г/л, уран 8—46 г/л), однако в последней данные приведены в неявной форме (результаты отнесены к исходной кислотности водной фазы, к тому же все для одного сечения  $\sim 0,62$  М  $\text{HNO}_3$ ). Обе работы выполнены с 19—20%-ным ТБФ; точный перерасчет равновесных данных на другую концентрацию ТБФ, например 30%, затруднен вследствие сложности перехода от исходных концентраций к равновесным. Кроме того, если для высокой кислотности (2—6 М) имеющиеся многочисленные данные по распределению плутония удовлетворительно согласуются между собой, то для низкой кислотности (0,1—1М) подобная информация малочисленна и противоречива.

В настоящей работе представлены средние статистические данные о распределении U (VI) (0—300 г/л), Pu (IV) (0,5—100 г/л) и  $\text{HNO}_3$  (0,15—1М в равновесных водных фазах) в 30%-ный раствор ТБФ в н-додекане, что позволяет описать основные закономерности поведения компонентов (уран, плутоний, кислота) на таких операциях экстракционной технологии, как вытеснительная реэкстракция плутония ураном [3], совместная или раздельная реэкстракция урана и (или) плутония в слабую кислоту и т. п.

**Экспериментальная часть.** Реагенты, методика, анализы подобны описанным в [2]; время контакта фаз (для уменьшения влияния диспропорционирования Pu (IV) на результаты эксперимента) было сведено до 3 мин.

В табл. 1—4 приведены равновесные данные по распределению Pu (IV), U (VI) и  $\text{HNO}_3$  из  $\sim 1$ ; 0,5; 0,3 и 0,15 М водных растворов азотной кислоты в 30%-ный раствор ТБФ в н-додекане.

Из табл. 1 видно, что значение  $E_{\text{Pu}}$  в отсутствие урана незначительно ( $\sim 1,5$  раза) уменьшается с ростом концентрации\* плутония

\* Везде речь идет о равновесной концентрации в обеих фазах.

Распределение Pu (IV), U (VI) и HNO<sub>3</sub> при экстракции их в 30%-ный ТБФ из ~1 М водных растворов HNO<sub>3</sub>

Таблица 1

[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>	[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>
А	Б		А	Б		А	Б		А	Б		А	Б		А	Б	
0,63	1,72	2,7	—	—	—	0,99	0,20	0,20	—	—	—	40,0	77	1,9	0,98	0,10	0,10
2,27	5,80	2,6	—	—	—	0,99	0,20	0,20	5,03	2,30	0,46	40,4	76	1,9	1,04	0,11	0,11
5,73	14,7	2,6	—	—	—	1,00	0,17	0,17	38,0	21,7	0,57	35,0	63	1,8	1,04	0,07	0,07
8,30	19,2	2,3	—	—	—	1,01	0,17	0,17	76,1	38,8*	0,51	32,2	50	1,6	0,87	0,07*	0,08
13,8	30,0	2,2	—	—	—	1,20	0,15	0,13	—	—	—	81,5	98	1,2	0,96	0,00	0,09
17,6	36,8	2,1	—	—	—	1,08	0,15	0,14	3,85	1,20	0,31	83,3	98	1,2	1,01	0,09	0,09
24,0	44,3*	1,8	—	—	—	1,12	0,27*	0,24	49,6	16,9	0,34	77,5	86	1,1	1,00	0,06	0,06
27,9	45,3*	1,6	—	—	—	0,99	0,11*	0,11	111	35,9	0,32	78	68	0,87	0,93	0,06	0,07
—	—	—	3,81	23	6,0	0,99	0,18	0,18	—	—	—	163	111	0,68	0,99	0,09	0,09
4,37	8,35	1,9	3,02	20,4	6,8	1,04	0,17	0,16	3,35	0,73	0,22	164	110	0,67	1,00	0,08	0,08
10,8	14,8	1,4	5,6	27,0	4,8	0,95	0,14	0,15	48,2	12,0	0,25	149	98	0,66	1,02	0,05	0,05
22,8	33	1,5	3,5	13,5	3,9	1,01	0,12	0,12	112	23,2	0,21	155	79	0,51	0,99	0,07	0,07
—	—	—	15,0	55	3,7	1,01	0,13	0,13	—	—	—	330	118	0,36	0,99	0,07	0,07
5,6	4,49	0,80	14,5	56	3,9	1,03	0,13	0,13	3,16	0,52	0,17	320	115	0,36	1,03	0,05	0,05
18,0	15,6	0,87	14,2	48	3,4	0,98	0,10	0,10	51	9,14	0,18	310	106	0,34	0,98	0,06	0,06
35,1	29,7	0,85	14,0	40	2,9	1,05	0,09	0,08	93	14,8	0,16	320	102	0,32	0,94	0,07	0,08

А — водная фаза; Б — органическая.  
\* Наблюдалось расслоение органической фазы (III фаза).

Распределение Pu (IV), U (VI) и HNO<sub>3</sub> при экстракции их в 30%-ный раствор ТБФ из ~0,5 М водных растворов HNO<sub>3</sub>

Таблица 2

[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>	[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>
А	Б		А	Б		А	Б		А	Б		А	Б		А	Б	
0,453	0,468	1,0	—	—	—	0,52	0,08	0,15	—	—	—	48,0	67,3	1,4	0,48	0,08	0,15
1,41	1,58	1,1	—	—	—	0,52	0,08	0,15	3,62	0,985	0,27	43,5	61,5	1,4	0,44	0,08	0,18
4,28	4,79	1,1	—	—	—	0,53	0,08	0,15	24,0	10,5	0,44	41,2	65,0	1,6	0,54	0,06	0,11
13,6	17,1	1,3	—	—	—	0,52	0,08	0,15	38,4	16,9	0,44	35,1	59	1,7	0,49	0,09	0,19
19,6	21,2	1,1	—	—	—	0,51	0,07	0,14	—	—	—	95,6	91	0,95	0,49	0,07	0,14
33,5	37,7	1,1	—	—	—	0,51	0,06	0,13	3,59	0,76	0,21	85,5	94	1,1	0,51	0,08	0,16
43,7	49	1,1	—	—	—	0,52	0,06	0,12	24,5	7,19	0,29	81	90	1,1	0,52	0,06	0,12
—	—	—	3,8	11,3	3,0	0,51	0,08	0,16	42,4	11,6	0,28	81	85	1,1	0,55	0,06	0,11
2,57	2,41	0,94	4,5	10,5	2,3	0,54	0,11	0,20	—	—	—	169	114	0,67	0,47	0,08	0,16
18,9	17,1	0,91	4,3	15,0	3,5	0,51	0,07	0,15	3,26	0,47	0,14	169	109	0,65	0,50	0,08	0,16
34,5	34,6	1,0	3,9	10	2,6	0,55	0,07	0,13	3,28	0,54	0,17	154	107	0,70	0,51	0,06	0,12
—	—	—	—	—	—	—	—	—	37,9	7,6	0,20	164	103	0,63	0,47	0,05	0,11
—	—	—	—	—	—	—	—	—	82	14,0	0,17	172	100	0,58	0,61	0,07	0,12
—	—	—	17,1	36,5	2,1	0,50	0,07	0,15	—	—	—	322	120	0,37	0,49	0,07	0,13
3,19	1,75	0,55	16,7	33,8	2,0	0,61	0,04	0,07	3,10	0,381	0,12	349	116	0,33	0,50	0,07	0,14
22,1	14,4	0,65	16,5	37,5	2,3	0,49	0,06	0,11	3,43	0,456	0,13	289	108	0,38	0,49	0,06	0,12
33,7	25,8	0,77	12,8	28,3	2,2	0,54	0,07	0,12	40,0	5,73	0,14	314	114	0,36	0,45	0,05	0,12
—	—	—	—	—	—	—	—	—	83,1	12,1	0,15	336	105	0,31	0,70	0,08	0,11

Распределение Pu (IV), U (VI) и HNO<sub>3</sub> при экстракции их в 30%-ный раствор ТБФ из ~ 0,3 М водных растворов HNO<sub>3</sub>

Таблица

[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>	[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>
A	Б		A	Б		A	Б		A	Б		A	Б		A	Б	
0,467	0,195	0,42	—	—	—	0,32	0,05	0,16	—	—	—	90	85	0,94	0,28	0,06	0,20
1,90	0,902	0,48	—	—	—	0,30	0,06	0,20	11,2	2,41	0,22	80	83	1,0	0,31	0,05	0,15
5,41	2,40	0,44	—	—	—	0,29	0,04	0,14	25,0	6,0	0,24	79	81	1,0	0,32	0,05	0,15
9,26	4,77	0,52	—	—	—	0,30	0,04	0,14	37,6	9,9	0,26	82	80	0,97	0,33	0,05	0,14
16,6	12,5	0,75	—	—	—	0,31	0,06	0,19	—	—	—	165	104	0,63	0,26	0,07	0,25
29,5	26,1	0,89	—	—	—	0,34	0,06	0,17	3,14	0,493	0,16	146	103	0,71	0,29	0,05	0,17
32,7	31,0	0,95	—	—	—	0,37	0,05	0,14	10,2	1,68	0,17	117	94	0,80	0,29	0,04	0,15
—	—	—	5,2	8,8	1,7	0,31	0,04	0,14	10,6	1,70	0,16	146	98	0,67	0,31	0,05	0,16
9,9	5,3	0,54	3,3	6,7	2,0	0,30	0,05	0,16	29,0	4,40	0,15	140	101	0,72	0,30	0,06	0,20
27,4	19,8	0,72	3,0	6,8	2,3	0,32	0,06	0,22	39,5	6,98	0,16	147	101	0,69	0,31	0,05	0,17
—	—	—	46,4	60,5	1,3	0,26	0,05	0,21	—	—	—	345	114	0,33	0,29	0,06	0,21
10,2	3,1	0,30	42,5	59,0	1,4	0,31	0,05	0,15	3,92	0,46	0,12	287	114	0,40	0,29	0,05	0,17
37,2	15,2	0,41	37,0	54,7	1,5	0,32	0,05	0,17	10,0	1,24	0,12	232	111	0,48	0,26	0,05	0,19
—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,5	1,29	0,12	301	111	0,37	0,32	0,05	0,16
—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,8	5,03	0,12	297	112	0,38	0,33	0,05	0,15

(от 0,6 до ~ 28 г/л) в одной фазе (1 М HNO<sub>3</sub>) вследствие частичного насыщения органической фазы металлом, изотерма экстракции при этом искривляется; наличие урана в этой системе (4—300 г/л) снижает экстракцию плутония, что соответствует общепринятой модели [11]. Значение E<sub>Pu</sub> (при постоянной концентрации урана в водной фазе) не зависит от концентрации плутония. Это явление в области высокого насыщения экстрагента было отмечено нами при исследовании экстракции U (VI) и Pu (IV) из сильноокислых сред [1, 2]. В области умеренного использования емкости экстрагента независимость E от концентрации Pu (IV) (при постоянной концентрации урана в водной фазе) есть результат компенсации негативного (уменьшение концентрации «свободного» ТБФ) и позитивного (высаливание) эффектов на экстракцию Pu(IV).

При низкой кислотности водной фазы (0,15—0,3 М) наблюдается эффект самовысаливания: извлечение плутония увеличивается с ростом его концентрации (см. табл. 3,4). Например, при увеличении концентрации Pu (IV) от ~ 0,5 до ~ 33 г/л в 0,3 М кислоте и от ~ 1,4 до ~ 10 г/л в 0,15 М кислоте E<sub>Pu</sub> увеличивается соответственно в 2,3 и 1,7 раза \*.

\* Впервые это было показано в системе 19% ТБФ — (0,3 ÷ 1,0) М HNO<sub>3</sub> с 0,1—5,0 г/л Pu (IV) и проанализировано в [11, 12].

Эффект самовысаливания плутония имеет место и для смешанных уран-плутониевых слабокислотных систем. Здесь этот эффект проявляется даже в присутствии больших количеств U (VI): до 300 г/л в 0,15 М кислоте и до 150 г/л в 0,3 М кислоте. С ростом кислотности водной фазы (0,5—1 М) самовысаливание плутония подавляется в присутствии урана (преимущественная экстракция урана и частичное насыщение экстрагента металлами).

В системе с 0,5 М HNO<sub>3</sub> эффекты самовысаливания и насыщения экстрагента уравниваются друг друга и значение E<sub>Pu</sub> остается приблизительно постоянным, не зависящим от концентрации плутония как в чисто плутониевой системе, так и в смешанной уран-плутониевой системе (см. табл. 2).

В системах с 0,15—0,3 М HNO<sub>3</sub> небольшое количество U (VI) в водной фазе (до 40 г/л) способствует экстракции плутония и вытесняет его в органическую фазу (E<sub>Pu</sub> растет); при большей концентрации урана в водной фазе экстракция плутония подавляется. С ростом кислотности (0,5—1 М) такой эффект высаливания исчезает и наличие даже небольших количеств урана в равновесной водной фазе резко снижает экстракцию плутония. Плутоний (до 20 г/л) в системах с 0,15—0,3 М HNO<sub>3</sub> оказывает заметное высаливающее действие на уран, повышая E<sub>U</sub>. При большей концентрации плутония

Распределение Pu (IV), U (VI) и HNO<sub>3</sub> при экстракции их в 30%-ный раствор ТБФ из ~ 0,15 М водных растворов HNO<sub>3</sub>

Таблица 4

[Pu], г/л		E <sub>Pu</sub>	[U], г/л		E <sub>U</sub>	[HNO <sub>3</sub> ], моль/л		E <sub>H+</sub>
А	Б		А	Б		А	Б	
1,38	0,179	0,13	—	—	—	0,16	0,02	0,13
3,30	0,414	0,13	—	—	—	0,16	0,01	0,06
5,44*	0,844	0,16	—	—	—	0,16	0,01	0,06
9,89*	2,23	0,23	—	—	—	0,16	0,02	0,13
—	—	—	3,4	2,5	0,73	0,15	0,02	0,13
5,0	0,78	0,16	4,6	4,8	1,0	0,16	0,02	0,13
—	—	—	13,2	12,0	0,91	0,15	0,05	0,33
4,77	0,98	0,21	14,3	17,5	1,2	0,17	0,03	0,18
—	—	—	42,3	44,7	1,1	0,14	0,03	0,21
4,6	0,76	0,17	41,1	47,2	1,2	0,16	0,04	0,25
18,4	4,94	0,27	34	44,8	1,3	0,25	0,04	0,16
—	—	—	79	72,2	0,91	0,12	0,03	0,25
5,24	0,668	0,13	80	76,5	0,96	0,16	0,05	0,31
20,7	4,20	0,21	72	75	1,0	0,18	0,04	0,22
—	—	—	140	98	0,70	0,12	0,04	0,33
5,09	0,518	0,10	160	103	0,64	0,16	0,04	0,25
18,0	2,26	0,13	152	99	0,65	0,17	0,04	0,24
—	—	—	286	114	0,40	0,12	0,05	0,42
5,79	0,355	0,06	290	114	0,39	0,17	0,05	0,29
17,4	1,7	0,10	295	116	0,39	0,20	0,04	0,20

\* Через 15—20 мин замечено изменение окраски водного раствора — результат диспропорционирования Pu (IV).

или ббльшей кислотности водного раствора (0,5—1 М) плутоний успешно конкурирует с ураном, снижая его экстракцию.

Следует отметить, что полученные результаты хорошо согласуются с данными [9] при условии коррекции их с коэффициентом 1,5 (коэффициент перехода от 20 до 30%-ной концентрации ТБФ для условий высокого насыщения органической фазы, когда E прямо пропорциональна исходной концентрации ТБФ [11]).

Заметное диспропорционирование Pu (IV) (изменение окраски водного раствора) наблюдалось в 0,3 М кислоте при концентрации плутония ~ 30 г/л, а в 0,15 М кислоте при концентрации ~ 5 г/л. Проведенная нами оценка по

данным [5] возможного влияния диспропорционирования Pu (IV) на величину E<sub>Pu</sub> показала, что систематическое занижение коэффициента распределения в результате диспропорционирования не превышает 3—5% в исследованном диапазоне концентраций и кислотности.

Математическая обработка полученных результатов позволила описать поведение компонентов эмпирическими формулами. Например, в отсутствие урана изотермы экстракции плутония в 30%-ный ТБФ из 0,5 и 1 М водных растворов HNO<sub>3</sub> в области концентраций 0,5—44 г/л (0,5 М) и 0,5—28 г/л (1 М азотная кислота) соответственно описываются с погрешностью ± (3 ÷ 4) % формулами

$$[Pu]_{орг} = 1,07 [Pu]_{вод}^{1,02}; \quad (1)$$

$$[Pu]_{орг} = 2,77 [Pu]_{вод}^{0,90}; \quad (2)$$

где [Pu]<sub>орг</sub>, [Pu]<sub>вод</sub> — концентрация плутония в органической и водной фазах соответственно, г/л. При концентрации плутония 0,5—33 г/л (0,3 М) и 1,4—10 г/л (0,15 М HNO<sub>3</sub>) изотермы экстракции плутония (в отсутствие урана) соответственно описываются с погрешностью ± (6 ÷ 7) % формулами

$$E_{Pu} = 0,40 + 0,017 [Pu]_{вод}; \quad (3)$$

$$E_{Pu} = 0,10 + 0,012 [Pu]_{вод}. \quad (4)$$

В присутствии U (VI) (4—300 г/л в водной фазе) изотерма экстракции плутония (0,5—100 г/л в равновесной водной фазе) из ~ 1 М водных растворов азотной кислоты описывается с погрешностью ± 2,5% формулой

$$E_{Pu} = 3,24/[U]_{вод}^{0,516}; \quad (5)$$

где [U]<sub>вод</sub> — концентрация урана в водной фазе, г/л.

При кислотности водной фазы 0,15—0,5 М изотермы экстракции плутония в присутствии урана описываются с точностью ± (6 ÷ 7) % формулой

$$E_{Pu} = \left(0,44 - \frac{0,051}{[H^+]}\right) / [U]_{вод}^{0,477}; \quad (6)$$

где [H<sup>+</sup>] — концентрация азотной кислоты в водной фазе, М. Эта формула применима в следующем диапазоне концентраций:

M <sub>HNO<sub>3</sub></sub>	Pu, г/л	U
0,5	0,5—100	4—300
0,3	0,5—100	10—300
0,15	1,5—20	80—300

Поступила в Редакцию 20.IX.77

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещагин В. Е., Ренард Э. В. «Радиохимия», 1975, т. 17, с. 766.
2. Верещагин В. Е., Ренард Э. В. «Атомная энергия», 1978, т. 44, вып. 5, с. 422.
3. Weech M. Патент США № 3.714.324, 1973.
4. Cleveland J. Plutonium Chemistry. N. Y.—London—Paris, Gordon and Breach, 1970.
5. Плутоний. Справочник под ред. О. Вика. Т. 1. М., Атомиздат, 1971.
6. Переработка ядерного горючего. Под ред. С. Столера, Р. Ричардса. М., «Атомиздат», 1964.
7. Николотова Э. И., Карташова Н. А. Справочник по экстракции. Т. 1. Под ред. А. М. Розена. М., Атомиздат, 1976.
8. Розен А. М., Моисеенко Э. И. В кн.: Экстракция. Вып. 2. М., Госатомиздат, 1962, с. 235.
9. Best G., McKay H., Woodgate P. «J. Inorg. and Nucl. Chem.», 1957, v. 4, N 5/6, p. 315.
10. Ocksenfeld W., Koch G., Schwind E. IAEA-115, Vienna, 1970, p. 289.
11. Розен А. М. «Атомная энергия», 1957, т. 2, вып. 5, с. 456.
12. Мак-Кэй. I Женевск. конф., 1955, докл. № 441.

УДК 621.039.722:621.183.123

## Применение ионного обмена и электродиализа для очистки жидких радиоактивных отходов

РАУЗЕН Ф. В., КУЛЕШОВ Н. Ф., ТРУШКОВ Н. П., ДУДНИК С. Н.

Низкоактивные жидкие отходы — продукты лабораторных сливов, сбросов дезактивирующих растворов от мытья помещений и оборудования, стоков душевых и прачечных в спецканализацию — наиболее сложная категория отходов по химическому и радиохимическому составу. Как правило, в них содержится  $\geq 0,5$  г/л неорганических солей (из них 50—60% солей жесткости), значительные количества поверхностно-активных (ПАВ), моющих и взвешенных веществ, органических соединений. Спектр присутствующих  $\alpha$ - и  $\beta$ -нуклидов может быть весьма широк, а сами нуклиды могут резко различаться по своему химическому состоянию.

Задача централизованной очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) с низким уровнем радиоактивности (ниже  $10^{-5}$  Ки/л) в Советском Союзе успешно решена 20 лет назад. Впервые она осуществлена в 1958 г. на Московской станции очистки, где жидкие радиоактивные отходы после процессов коагуляции и механического осветления подвергаются глубокой очистке от присутствующих радионуклидов на узле ионного обмена (табл. 1). К настоящему времени накоплен значительный опыт применения ионного обмена для этих целей.

Обязательное условие подготовки ЖРО перед ионообменной очисткой — их освобождение от взвесей и радиоколлоидов, что достигается в результате коагуляции солями железа; в образующиеся при этом гидроокисные осадки (шламы) переходит до 20—30% органических загрязнений, а также практически все  $\alpha$ -радио-

нуклиды. Дополнительная фильтрация растворов на механических песчаных фильтрах со скоростью 5—8 м/ч обеспечивает полное их освобождение от микровзвесей и предохраняет от возможного в дальнейшем забивания шламами ионитовых фильтров. Практика показала, что после химической обработки отходов на долю ионитов остается, как правило, извлечение  $\beta$ -радионуклидов.

Для получения требуемых коэффициентов очистки [1] на ионитах и уменьшения объема образующихся регенератов технологическая схема состоит из двух пар (ступеней) ионитовых фильтров (катионит — анионит в Н — ОН-формах), не считая резервной пары. На первой паре происходит обессоливание растворов с высокой степенью использования емкости ионитов, на второй — удаление радионуклидов из обессоленных растворов. При этом используется незначительная часть емкости ионитов. Регенерация подвергается вначале первая пара фильтров — с катионитом и анионитом, после чего она меняется ролью со второй. В итоге двухступенчатой фильтрации отходов через иониты достигается глубокое их обессоливание (10—30 мг/л).

На рисунке показана принципиальная схема переработки ЖРО, состоящая из двух основных технологических цепочек: **очистка** (сбор стоков, коагуляция, осветление и ионный обмен) и **концентрирование** (содово-щелочная обработка регенератов, упаривание декантата совместно с гидратным шламом). Продукты концентрирования (солевые радиоактивные гидратно-карбо-