

- суева, Е.В. Чупарина и др. // Почвы холодных областей: генезис, география, экология (к 100-летию со дня рождения профессора О.В. Макеева) : материалы научной конференции с международным участием, Улан-Удэ, 31 августа – 9 сентября 2015 г. – С. 73–74.
8. Надеждин Б.В. Материалы к характеристике почвенного покрова Усть-Ордынского Бурят-Монгольского национального округа Иркутской области // Тр. Восточносибирский филиал. Почвоведение. – Благовещенск, 1959. – Т. 17. – С. 5–71.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М. : Географгиз, 1961. – 496 с.
10. Черноусенко Г.И., Лопатовская О.Г. Засоленные почвы Иркутской области (Предбайкалье). Засоленные почвы России / отв. редакторы Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова, Л.А. Воробьева и др. – М. : Академкнига, 2006. – С. 600–646.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

А.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, Д.В. Кабанов<sup>2</sup>, Е.Ю. Карташов<sup>1</sup>, А.Я. Сваровский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, Северск, Россия, d086san@mail.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия, kabanovdv@tpu.ru

## ELECTROCHEMICAL METHOD OF NEUTRALIZATION OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE

A.N. Kuznetsova<sup>1</sup>, D.V. Kabanov<sup>2</sup>, E.Yu. Kartashov<sup>1</sup>, A.Ya. Svarovskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Seversk Technological Institute of NRNU MEPHI, Seversk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Now the problem of neutralization of liquid radioactive waste at the enterprises of nuclear power is one of the most actual and expensive technological tasks. The purpose of this research work was to develop an effective low costing method of cleaning the liquid radioactive waste from Cs<sup>137</sup>, Co<sup>60</sup>, by their changeover to hydrogen ions in the stationary mode. Conditions of carrying out the process and the most achievable levels of cleaning the researched waters were defined at a given stage of study.

**Keywords:** liquid radioactive waste, electrochemical method of cleaning, electrolytic cell.

В проблеме обезвреживания жидких радиоактивных отходов наряду с предприятиями атомной энергетики значительное место занимают отходы радиохимических лабораторий и исследовательских ядерных реакторов.

Успешному решению вопросов, связанных с развитием ядерной энергетики, нейтронно-активационным анализом, производством радиофармпрепаратов, изучением воздействия мощных нейтронных потоков на материалы, способствуют исследовательские ядерные реакторы. Одним из таких является исследовательский ядерный реактор ИТР-Т Томского политехнического университета.

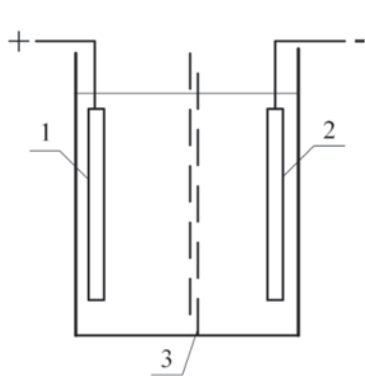
При эксплуатации экспериментальных реакторов образуются жидкие радиоактивные отходы разного уровня активности. Отходы высокого уровня активности ( $a > 1$  Ки/л) теоретически могут получаться на экспериментальных реакторных установках только в исключительных случаях – при сложных аварийных ситуациях. Единственный способ обезвреживания таких отходов – это сбор и удаление их на централизованную станцию захоронения. К отходам среднего уровня активности ( $a = 1 \cdot 10^{-5} - 1$  Ки/л) относятся: часть охлаждающей воды (или теплоносителя), вытекающей из I контура; растворы и воды, получаемые при дезактивации сильно загрязненного оборудования или поверхностей; конденсаты с установок для очистки воздушных сбросов и др. При нормально эксплуатации реакторной установ-

ки, ремонте и демонтаже образуются жидкие отходы низкого уровня активности (сбросные воды): воды охлаждения ТВЭЛов контура I в том случае, если их удельная активность меньше  $1 \cdot 10^{-5}$  Ки/л; воды биологической защиты и транспортных каналов; трапные воды, получающиеся при дезактивации помещений реакторной установки; обмывочные воды, получающиеся при дезактивации оборудования, трубопроводов, арматуры и датчиков контрольно-измерительных приборов; воды специальных прачечных, предназначенных для дезактивации спецодежды, обуви; воды санитарных пропускников для обслуживающего персонала [4].

Реализуемый на данный момент метод очистки сбросных вод, на исследовательском ядерном реакторе ИТР-Т, это очистка на ионообменных смолах, которая не решена недостатков, один из них – цена ионообменной смолы.

Целью данной работы является разработка эффективного и мало затратного способа очистки жидких радиоактивных отходов.

В данной работе проводились исследования очистки сбросных вод от Cs<sup>137</sup>, Co<sup>60</sup> из 300 м<sup>3</sup> накопительных баков, расположенных на территории исследовательского ядерного реактора ИТР-Т Томского политехнического университета. Для определения наиболее эффективных режимов работы электролитической ячейки и удобства измерения характеристик процесса очистки от



**Рис. 1.** Схема экспериментальной электрохимической ячейки: 1 – анод; 2 – катод; 3 – брезентовая мембрана

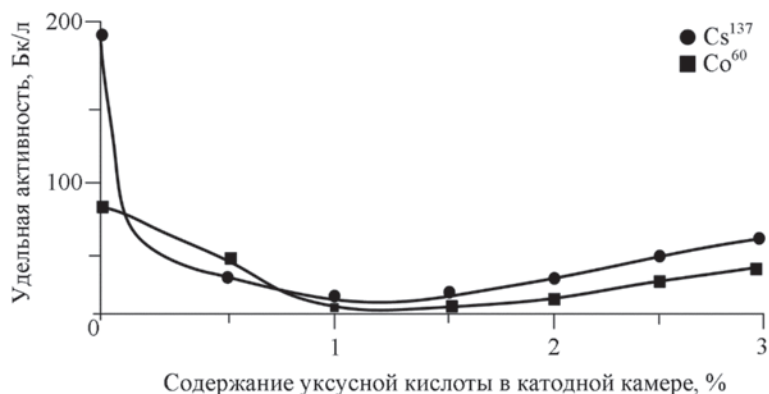
ионов металлов раствора анодной камеры и концентрирования этих ионов в катодной камере использован непроточный режим. На рисунке 1 представлена непроточная экспериментальная ячейка, разделенная на равные объемы брезентовой мембраной типа 11211 ПВ. На электроды подавалось напряжение 45 В.

Измерения активностей радиоаналитических изотопов определяемых техногенных элементов при анализе проб воды, проводили с использованием гамма-спектрометра на базе многоканального амплитудного анализатора DSA-100 и полупроводникового детектора из особо чистого германия (Canberra, USA) объемом 160 см<sup>3</sup>. Анализ проб воды по содержанию (удельной активности) вели по некоторым техногенным элементам: Cs<sup>137</sup>, Co<sup>60</sup>, аналитические гамма-линии которых, соответственно 661 и 1173 и 1332 кэВ. Время экспозиции составляло от 100 до 600 с, в зависимости от загрузки спектрометрического тракта. После измерений проводилась идентификация данных изотопов и расчет площадей для данных аналитических линий Cs<sup>137</sup> и Co<sup>60</sup>. Расчет удельной активности производили по формуле

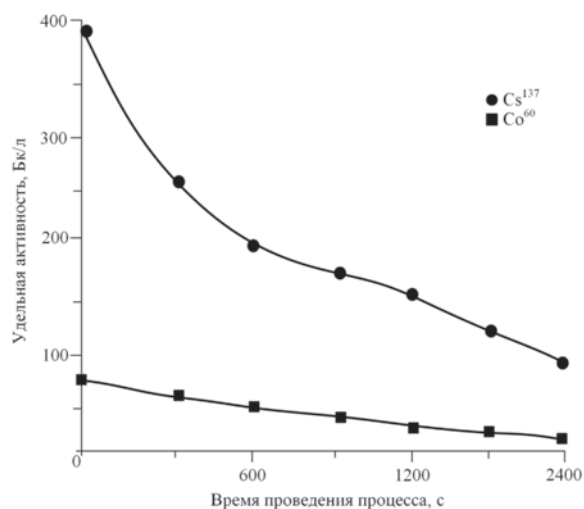
$$A = N / (eff \cdot t \cdot n),$$

где *eff* – эффективность регистрации для данной радиоаналитической гамма-линии; *t* – время экспозиции; *n* – квантовый выход гамма-линии (справочные данные).

Предлагаемый метод очистки раствора от ионов металла, путем их замены на ионы водорода, основан на миграционном переносе ионов через пассивную мембрану под действием градиента электрического потенциала. Поскольку разница максимальной подвижности и минимальной подвижности ионов металлов сравнительно не велика (максимальная величина отношения эквивалентных электропроводностей электролитов для ионов металлов не превышает величину 1,6 [3]), то поведение различных видов ионов металла при миграционном переносе под действием электрического поля отличается незначительно. Такую же незначительную разницу в подвижности имеют кислотные остатки. Од-



**Рис. 2.** Зависимость удельной активности воды от содержания уксусной кислоты в катодной камере



**Рис. 3.** Зависимость удельной активности от времени проведения процесса

нако именно вид кислотного остатка оказывает значительное влияние на процесс переноса ионов в катодит и анолит. Причиной этого является многократная разница в степени диссоциации кислот. Например, степень диссоциации азотной кислоты в 200 раз превышает степень диссоциации уксусной кислоты [3]. Добавление в катодит нескольких процентов уксусной кислоты повышает эффект очистки анолита и уровень концентрации катионов металлов в катодите. Положительный эффект связан с тем, что анионы уксусной кислоты, поступающая из катодита в анолит, связывают ионы водорода, благодаря малой степени диссоциации этой кислоты. Это приводит к уменьшению паразитного тока ионов водорода из анолита в катодит.

В ходе лабораторных исследований определяли эффективные режимы очистки радиоактивно-загрязненных вод. На графиках представлены зависимости удельной активности от процентного содержания уксусной кислоты в катодной камере (рис. 2) и от времени проведения процесса (рис. 3).

На основании полученных данных в экспериментальной непроточной электрохимической ячейки (рис. 2, 3) определили максимально эффективные параметры ведения процесса: необходимо 1% подкисление уксусной кислотой катодной камеры и время ведения процесса 2400 с. Однако этот режим не дает стабильных результатов, очистки сбросных вод до норм радиационной безопасности.

На данном этапе исследования разрабатываются варианты улучшения полученных результатов с переходом на проточный аппарат очистки сбросных вод исследовательского ядерного реактора ИТР-Т Томского политехнического университета.

#### Литература

1. Калухин С.А., Коновалова Н.А., Горбачева М.П. Извлечение  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  из модульного раствора трапных вод АЭС // Журнал Радиохимия. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 242–248.
2. Никифоров А.С., Кулеченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
3. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.
4. Сваровский А.Я., Стриханов М.Н., Жиганов А.Н. Технология и оборудование обезвреживания жидких радиоактивных отходов: учеб. пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 500 с.

## ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ГРАНИТОИДОВ АМАЛАТСКОГО ПЛАТО

Е.С. Кузнецова, В.А. Домаренко

Томский политехнический университет, Томск, Россия

## GEOLOGY-STRUCTURAL POSITION AND SPECIALIZATION OF GRANITOID THE AMALAT PLATEAU

E.S. Kuznetsova, V.A. Domarenko

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Представлены результаты изучения геолого-структурной позиции и специализации гранитоидов Амалатского плато. Определен минеральный и элементный состав гранитоидов фундамента. Установлено, что гранитоиды фундамента представлены лейкократовыми биотитовыми гранитами субщелочного ряда, определены основные породообразующие минералы, акцессорная минерализация (апатит, циркон, сфен, магнетит, монацит, ксенотим) и минералы носители урана. Установлена высокая радиоактивность гранитоидов фундамента торий-урановой и урановой природы.

The results of the studying of Geology-structural position and specialization of granitoid the Amalat table land. The mineral and element structure of granitoids' base was stated. It has been stated that granitoids in basement consist of leucocratic biotite granite of subalkaline row. The major rock-forming, accessory (apatite, zircon, sphen, magnetite, monazite, xenotime), and uranium-bearing minerals have been determined. High radioactivity of basement granitoids of thorium-uranium and uranium origin was stated.

В 70-е гг. как на территории России, так и в странах СНГ было открыто множество грунтово-инфильтрационных месторождений "палеодолинного" типа мезозойского и кайнозойского возраста залегающих на породах фундамента. В их числе и месторождения Хиагдинского рудного поля (Витимский урановорудный район) в Центральном Забайкалье, которые были открыты геологами №130 Сосновского ПГО (И.Р. Коробенко, П.А. Пешков и др.).

Целью работы является раскрытие вопроса о геолого-структурной позиции и определении специализации гранитоидов.

Исследуемый район расположен в пределах Витимского плоскогорья в Центральном Забайкалье. Хиагдинское рудное поле представляет собой серию урановых месторождений локализованных на Витимском плоскогорье в пределах Амалатского плато базальтов. В соответствии с тектоническим районированием территория Амалатского плато базальтов (5000 км<sup>2</sup>) рассматривается как окраинная часть Сибирской платформы, нахо-

дящаяся на стыке с Урало-Монгольским подвижным поясом. Положением района между жесткой стабильной структурой на северо-западе и тектонически активными долгоживущими зонами на юго-востоке определены основные особенности его геологического развития с образованием на разных этапах субплатформенных и субгеосинклинальных формаций в сопряженных структурах. В целом территория располагается между Курба-Амалатской и Джиды-Витимской структурно-формационными зонами, входящими в состав Селенгино-Витимской геотектонической области. Геологическими границами района являются зоны глубинных разломов – с юго-востока и северо-запада Уда – Витимская и Джиды – Витимская, на северо-востоке Точерская, а на юго-западе Конда – Витимская (рис. 1) [14].

У разных исследователей толкование периода развития Витимского плоскогорья вызывает огромный спор. Одни исследователи этот регион относят к зоне аркогенеза в мезозойский период [8], другие к активизированной платформе [1, 10], а так же к области сво-