

досборных бассейнов, условий миграции и аккумуляции вещества, геохимической устойчивости почв к техногенному воздействию и геохимических арен позволило провести эколого-радиохимическое районирование и составить карту, отражающую дифференциацию территории по особенностям распространения искусственных радионуклидов. Районы классифицируются на сбрасыватели и накопители, различные виды транзитных районов, в которых соответственно при попадании искусственных радионуклидов преимущественно происходит их вынос, накопление или наблюдается определенный баланс между приходом и выносом вещества [1].

Заключение

Составленная серия разномасштабных эколого-геохимических карт на локальном и региональном уровнях исследования позволила выявить особенности распределения ^{137}Cs на исследуемой территории, определить степень воздействия СРЗ "Нерпа" на компоненты окружающей среды и оценить радиозоологическое состояние почв и лишайников. Изучение миграции и концентрации техногенных радионуклидов в почвах тундровой зоны показало, что территория исследования в целом не является радиоактивно-загрязненной.

Полученная информация об источниках поступления радионуклидов, закономерностях их пространственного распределения послужит основанием при выработке стратегий развития природопользования в регионе и экономических расчетах стоимости экологической реабилитации загрязненных территорий.

Особое внимание при планировании хозяйственной деятельности должно уделяться районам-"накопителям" с потенциальной способностью к аккумуляции ис-

кусственных радионуклидов. Проведенное районирование позволяет выявить закономерности распределения искусственных радионуклидов, попавших на поверхность земли, оценить пути их выноса с изучаемых территорий и спрогнозировать расположение районов наибольшего потенциального их накопления.

Литература

1. Эколого-геохимическое районирование Севера европейской территории России / Е.Н. Борисенко, В.И. Величкин, Т.А. Воробьева и др. // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 414, № 5. – С. 1–3.
2. Оценка эколого-геохимического состояния почв на северо-западе Кольского полуострова / В.И. Величкин, Н.В. Кузьменкова, Н.Е. Кошелева и др. // Геоэкология. – 2012. – № 1. – С. 41–51.
3. Глазовская М.А. Методические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям : метод. пос. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 102 с.
4. Мельник Н.А., Локшин Э.П., Седнева Т.А. Распределение природных радионуклидов // Журнал прикладной химии. – 2004. – Т. 77, № 8. – С. 1237–1240.
5. Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. – М. : Академия, 2004. – 240 с.
6. Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Речной бассейн и бассейновая организации географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы / под ред. Р.С. Чалова. – М. : Изд-во МГУ, 2003. – Вып. 14. – С. 7–32.
7. Kuzmenkova N., Vorobyova T. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula // Journal of Geochemical Exploration. – 2015. – No. 154. – P. 194–199.

НАКОПЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ (239+240) В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЧАСТИ КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ

М.К. Воротило, Л.П. Рихванов

Томский политехнический университет, Томск, Россия, mkv1@tpu.ru

THE ACCUMULATION OF PLUTONIUM ISOTOPES (239+240) IN THE COMPONENTS OF THE NATURAL ENVIRONMENT IN THE TERRITORY OF THE KARAGANDA REGION ADJACENT TO THE SEMIPALATINSK TEST SITE

M.K. Vorotilo, L.P. Rikhvanov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Presents the results of a radiological survey of the territory of the Karaganda region. The data obtained on contamination of isotopes of plutonium (239+240), assessed the impact of nuclear testing on Semipalatinsk testing nuclear polygon. Currently, the pollution of the examined areas of technogenic radionuclides in most places, does not exceed the background level of global fallout, and only at some points noted in the reading background of global fallout. However, there are local areas of contamination, which could be formed as a result of testing of BRV, or other atmospheric fallout from nuclear testing.

Семипалатинский испытательный полигон расположен на северо-востоке Республики Казахстан на территории пересечения трех областей: Восточно-Казахстанской (раннее Семипалатинской), Павлодарской и Карагандинской (рис. 1). Он являлся основным местом проведения испытаний ядерного оружия и ядерных устройств в бывшем Советском Союзе. В период с 1949 по 1989 гг. здесь было проведено 456 испытаний ядерных устройств [4].

Многолетние испытания ядерного оружия привели к необратимым процессам в окружающей среде, связанным с нарушением природного равновесия растительного и животного мира и нанесшим значительный ущерб здоровью населения. В результате проведения ядерных испытаний в атмосферу было выброшено огромное количество радиоактивных веществ, которые частично осели на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Другая часть распространилась далеко за пределы мест испытаний вследствие атмосферного переноса. В дальнейшем процесс выпадения радиоактивных веществ из атмосферы привел к глобальному загрязнению земной поверхности [10]. Практически все наземные взрывы, произведенные в СССР, были осуществлены на территории СИП. Мощность наземных взрывов составила примерно 0,6 Мт [17].

Многие территории в непосредственной близости от Семипалатинского испытательного ядерного полигона подверглись выпадению радиоактивных осадков, отдельные области длительное время находились на пути радиоактивных следов – ветровых выносов с полигона в периоды ядерных испытаний.

Наземные взрывы сформировали на местности радиоактивное загрязнение в виде длинных полос, так называемых "радиоактивных следов". Пространственное распределение радиоактивности определялось скоростью и направлением ветра, а также атмосферными осадками, которые способствовали ускоренному выпадению радиоактивных частиц на местность [6]. Некоторые ядерные испытания оказали воздействие на терри-

торию Карагандинской области. Было зафиксировано прохождение радиоактивных облаков от 73 взрывов [7].

Основным реальным источником радиоактивного загрязнения почвенно-растительного комплекса являются глобальные радиоактивные выпадения из атмосферы долгоживущих радионуклидов при ядерных испытаниях, а также воздушные выбросы техногенных радионуклидов, связанные с работой предприятий ядерного топливного цикла [11]. В результате ядерных взрывов в окружающую среду поступило значительное количество долгоживущих радионуклидов, в том числе плутония (239+240) и плутония (238) [15].

Почвенный покров является идеальной депонирующей средой [1]. Почва представляет собой плодородный поверхностный слой земной коры, несущий на себе растительный покров, является наиболее емким и самым инерционным звеном, вследствие чего от скорости миграции радионуклидов в почве во многом зависит скорость их распространения по всей цепочке [11]. Изучение содержания и распределения активности радионуклидов в природных компонентах вблизи территории СИП есть необходимый аспект исследований.

Результаты исследований, приведенных в последние годы, показали, что радиационная обстановка не является стабильной. Происходит постоянное перераспределение радиоактивных веществ, что обусловлено многими факторами. Сильные ветры, степные пожары, а также несанкционированная деятельность на загрязненной территории способствуют формированию процесса дефляции, т.е. подъему радиоактивных частиц с подстилающей поверхности, "горячих" частиц (<50 мкм), имеющих чрезвычайно высокую активность и представляющих наибольшую опасность для здоровья, т.к. они содержат радиоактивный плутоний [2]. Более 99% плутония, поступившего в окружающую среду, депонируется в поверхностных слоях почвы и в донных отложениях [15].

Поэтому в настоящее время являются весьма актуальными мониторинговые исследования по оценке радиозоологической ситуации на территории Карагандинской области, в местах прилегания к СИП, так как радиационная обстановка здесь представляет реальную угрозу переоблучения населения, ведущего хозяйственную деятельность в данном регионе.

Целью данного исследования является оценка влияния СИП на компоненты природной среды территории части Карагандинской области, через изучение уровней накопления изотопов плутония (239+240) в почвах и листьях тополя черного (*Populus nigra* L.).

Материалы и методы анализа

Литогеохимические и биогеохимические исследования проводились на территории Карагандинской обла-

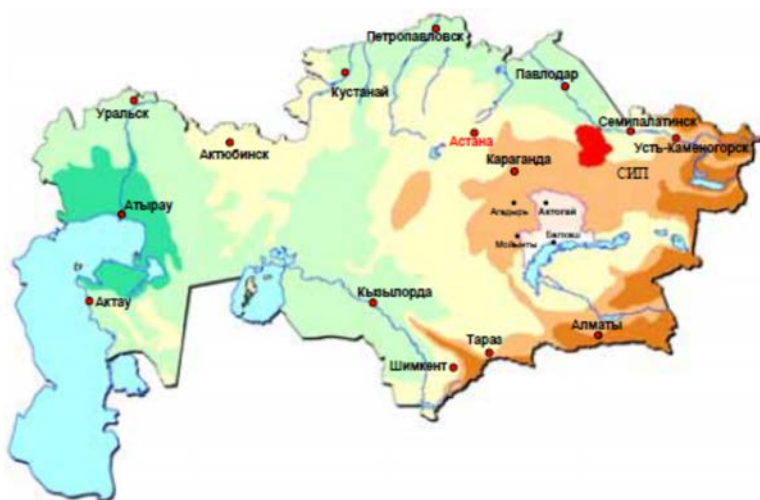


Рис. 1. Местонахождение Семипалатинского испытательного полигона

сти, в зоне влияния Семипалатинского испытательного полигона, а именно в п. Егиндыбулак, п. Айнабулак, п. Мыржык и на территории Карагандинской области, в пределах СИП. Маршрут пробоотбора представлен на

рисунке 2. Всего было отобрано 12 проб почвы и 5 проб листьев тополя черного (*Populus nigra* L.).

Все работы по отбору и подготовке проб почвы и листьев тополя черного выполнялись с учетом методических рекомендаций, ГОСТ 17,4,3,01-83 и справочных материалов [5, 9, 16].

Контроль загрязнения почвы радионуклидами проводился на пробных площадках 3x3 м. Пробы почвы отбирались методом "треугольника". Объединенную пробу составляли путем смешивания точечных проб, отобранных на одной пробной площадке [3]. Площадь отбора точечной пробы – 100 см², глубина составляет 5 см. Отобранная проба упаковывается в полиэтиленовый пакет и снабжается паспортом (пояснительной запиской), в котором указываются: присвоенный номер, место отбора, дата и время отбора, географические координаты, результаты полевой радиометрии.

Листья тополя в первичной сырой массе порядка 50–100 г (20–30 листьев с одного дерева) отбирались из нижней части кроны, на высоте 1,5–1,8 м (на уровне расположения органов дыхания человека) с максимально возможного количества ветвей, растущих в разных направлениях [18]. Обобщенно подготовку можно представить в виде последовательного измельчения, взвешивания перед озолением, озолению в муфельной печи (в фарфоровых тиглях) при температуре 550 °С в течение 2 ч с момента достижения заданной температуры до получения равномерно озоленного материала белого или светло-серого цвета, а также взвешивания после озоления для дальнейшего расчета содержания в сухом веществе [16].

Исследования проводились в лаборатории изотопного анализа Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) "Урановая геология" Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ) с использованием аттестованной методики определения концентрации изотопов плутония [14].

Стандартные методики определения сравнительно невысоких концентраций "трансурановых элементов", таких как ²³⁸Pu, ^{239,240}Pu в пробах почвы и растительного материала, заключаются в выделении радиоактивных элементов из вещества образца, их радиохимическом разделении, осаждении на металлическую подложку, и последующей альфа-спектрометрией приготовленного препарата [13]. Навеску почвы массой 10 г после озоления и добавки индикаторов ²⁴²Pu и растворяли в азотной

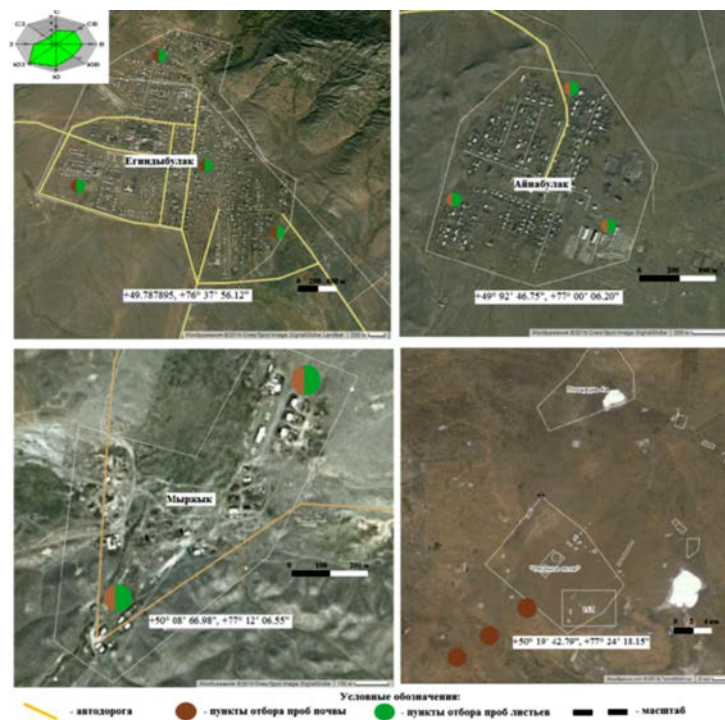


Рис. 2. Карта территорий, прилегающих к СИП и космоснимки с точками и координатами отбора проб почвы и листьев тополя

кислоте. Изотопы плутония разделяли методом ионообменной хроматографии с использованием анионита АВ-17-8. После очистки препаратов от мешающих радионуклидов естественного, искусственного происхождения и других химических элементов, определяемые изотопы электролитически осаждали на диск.

Таблица 1. Активность изотопов плутония в почвах и листьях тополя черного (*Populus nigra L.*) на территории Карагандинской области, прилегающей к СИП

№	Место отбора проб	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu, Бк/кг
Почва		
1	Егиндыбулак т.1	<0,21
2	Егиндыбулак т.2	2,1±0,5
3	Егиндыбулак т.3	<0,12
4	Егиндыбулак т.4	<0,05
5	Айнабулак т.3	<0,1
6	Айнабулак т.2	<0,05
7	Айнабулак т.1	<0,06
8	Мыржык т.1	1,8±1,0
9	Мыржык т.2	<0,1
10	Найманжал	<0,12
11	СИП т.1	<0,6
12	СИП т.2	<0,07
Листья тополя		
1	Егиндыбулак т.1	<0,013
2	Егиндыбулак т.2	0,027±0,016
3	Айнабулак т.1	<0,008
4	Айнабулак т.2	<0,011
5	Мыржык т.1	<0,02

Содержание изотопов ^{239,240}Pu определено на автоматизированном альфа-спектрометре фирмы EG&G Ortec 576A с кремниевым детектором, легированным имплантированными атомами бора [13]. Для проверки достоверности полученных результатов были проведены измерения одних и тех же проб несколько раз с помощью разных методик разложения и выщелачивания проб, в соответствии с СТП 17.66-92 [14], НСАМ № 406-ЯФ [8].

Результаты исследования

Процесса пробоподготовки для альфа-спектрометрического анализа изотопов плутония крайне сложный и трудоемкий, ввиду этого исследования такого рода проводятся фрагментарно и в малых объемах. Такие локальные загрязнения можно объяснить прохождением дальних выносов радиоактивных облаков с СИП над исследуемой территорией. Плутоний – радиоактивный элемент техногенного происхождения, который не имеет стабильных изотопов, прямо характеризующий уровень загрязнения природной среды радиоактивными продуктами техногенеза.

Картина удельной активности плутония и его распределения в изученных пробах почв и листьях тополя прослеживается по результатам проведения собственных исследований (таблица 1).

По проведенным измерениям проведена оценка активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu с расчетом погрешности, оценка активности ²³⁸Pu нецелесообразна ввиду низких пределов его обнаружения. Большинство проб имеют низкие уровни активности (менее 0,05 Бк/кг), однако в точке +49°78'78,95" с.ш. и +76°37'56,12" в.д. на территории п. Егиндыбулак и в точке +50°08'66,98" с.ш. и +77°12'06,55" в.д. на территории п. Мыржык обнаружены повышенные активности – более 1,8 Бк/кг. За глобальный уровень содержания Pu в почвах принято значение 0,2 Бк/кг [12].



Рис. 3. Распределение ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в почвах на территории Карагандинской области, прилегающей к СИП



Рис. 4. Распределение $^{239+240}\text{Pu}$ в листьях тополя черного на территории Карагандинской области, прилегающей к СИП

Распределение плутония в почвах имеет "пятнистый" характер. Плутоний относится к числу малоподвижных элементов, его перераспределение по поверхности Земли происходит преимущественно за счет ветрового переноса и эрозии почв, а следовательно повышенная активность плутония в почвах в п. Егиндыбулак и п. Мыржык обусловлена уровнем глобальных выпадений (рис. 3).

Активность изотопов плутония в листьях тополя в пересчете на сухую массу низкая – менее 0,008 Бк/кг сухой массы, наиболее значимая удельная активность изотопов $^{239,240}\text{Pu}$ равная $0,027 \pm 0,016$ Бк/кг сухой массы, зафиксирована в точке $+49^{\circ}77'95,55''$ с.ш. и $+76^{\circ}40'17,90''$ в.д. также на территории п. Егиндыбулак.

При анализе распределения активности плутония в листьях тополя наблюдается тенденция уменьшения активности по мере удаления от полигона (рис. 4).

Плутоний практически не поступает из почвы в растения и относится к радионуклидам с очень низкой биологической подвижностью. Однако основная опасность загрязнения плутонием растений – это поверхностное радиоактивное загрязнение, это указывает, что уменьшение активности плутония в листьях тополя обусловлено ветровым переносом пыли с поверхности почв, загрязненных изотопами плутония.

Выводы

В результате проведения радиоэкологических работ на территории части Карагандинской области в пределах СИП, а также п. Егиндыбулак, п. Айнаубулак, п. Мыржык было установлено:

1. В исследованных почвах на территории п. Егиндыбулак и п. Мыржык обнаружены повышенные активности изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ более 1,8 Бк/кг, что в 9 раз превышает фон глобальных выпадений 0,2 Бк/кг.

2. В исследованных листьях тополя черного наиболее значимая удельная активность изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ зафиксирована на территории п. Егиндыбулак, вследствие низкой биологической активности плутония, в листьях плутоний поступает ветровым переносом пыли с поверхности почв.
3. Значительная часть региона, включая территорию самого СИП, характеризуется близкими к фоновым уровнями радиационного загрязнения, однако некоторые районы показывают уровни загрязнения, соответствующие гораздо более высоким удельным активностям, что может привести к радиологическим последствиям.
4. Полученные данные исследований представляют практическую и научную значимость для проведения радиоэкологического мониторинга на территории районов Карагандинской области в зоне влияния СИП.

Литература

1. Бекман И.Н. Плутоний / МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедры радиохимии. – М., 2010. – 165 с.
2. Современная радиоэкологическая обстановка на Семипалатинском испытательном полигоне в Казахстане в отношении плутониевого загрязнения / Г. Воит, Н. Семиошкина, Б. Додд и др. // Вестник НЯЦ РК "Радиоэкология. Охрана окружающей среды". – 2000. – Вып. 3. – С. 164–170.
3. Волкова В.Г., Давыдова Н.Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. – Новосибирск : Наука, 1987.
4. Семипалатинский полигон: хронология подземных ядерных взрывов и их первичные радиационные эффекты / В.В. Горин, А.М. Матущенко, С.Г. Смагулов и др. // Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии. – 1993. – № 9. – С. 21–32.

5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
6. Завершение 1 этапа радио-эколого-геохимического обследования территории Карагандинской области, возвращаемой Семипалатинским ядерным полигоном : отчет по договору № 8 от 29.07.2002. – Курчатов : ИРБЭ НЯЦ РК, 2002. – 48 с.
7. Логачев В.А. Ядерные испытания на Семипалатинском полигоне и их влияние на окружающую среду // Вестник НЯЦ РК. – 2000. – Вып. 3. – С. 9–14.
8. Методика выполнения измерений удельной активности изотопов плутония ($^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu) в пробах почв, грунтов, донных отложений альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой (Инструкция НСАМ №406-ЯФ, свидетельство № 49090.3Н619).
9. МР 2.6.1.27-2003. Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды : методические рекомендации.
10. Осинцев А.Ю., Стрельчук Ю.Г., Митяев А.В. Радиологическое исследование территории Карагандинской области в пределах Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. – 2004. – Вып. 1. – С. 24–28.
11. Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. – М. : Энергоиздат, 1981. – 98 с.
12. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии: учебное пособие. – Томск : СТТ, 2009. – 430 с.
13. Сравнительная оценка выпадения радионуклидов на территории Томского района (Россия) и национального парка Меркантур (Франция) / Л.П. Шура [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, № 3. – С. 76–81.
14. СТП 17,66-92 плутоний-238, 239, 240 Радиохимическая методика выделения почвы и приготовления препаратов для альфа-спектрометрических измерений. Стандарт предприятия. Комплексная система управления качеством разработок. – Введ. 1993-01-02. – СПб. : Радиевый институт им. В.Г. Хлопина, 1993. – 10 с.
15. Тухватулин Ш.Т., Жотабаев Ж.Р., Кадыржанов К.К. и др. // Сб. матер. II Междунар. конф. "Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде", Семипалатинск, 16–18 ноября 2002 г. – Семипалатинск, 2002. – Т. 2. – С. 128–140.
16. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбоэкосистем Санкт-Петербурга. – СПб. : Наука, 2005. – 339 с.
17. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон / под ред. В.А. Логачева. – М. : Изд АТ, 1997. – 319 с.
18. Ялалтдинова А.Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2015.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА СУЩЕСТВОВАНИЯ АУТИГЕННЫХ ФАЗ U(IV) В КАРБОНАТНЫХ ОСАДКАХ ОЗЕР

Ю.С. Восель¹, М.С. Мельгунов^{1,3}, С.В. Восель^{2,3}, В.Д. Страховенко^{1,3}, И.В. Макарова¹

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск vosel@igm.nsc.ru

²Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск, Россия

³Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия

ISOTOPIC-GEOCHEMICAL EVIDENCE OF AUTHIGENIC U(IV)-PHASES EXISTENCE IN CARBONATE LAKE SEDIMENTS.

Y.S. Vosel¹, M.S. Melgunov^{1,3}, S.V. Vosel^{2,3}, V.D. Strakhovenko^{1,3}, I.V. Makarova¹

¹Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SBRAS, Novosibirsk, Russia

²Institute of Chemical Kinetics and Combustion SBRAS, Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk State University

Работа посвящена изучению форм нахождения урана в современных карбонатных осадках двух малых озер Приольхонья для обнаружения свидетельств образования на ранних стадиях диагенеза различных собственных минеральных фаз урана (IV). Для максимально детального разделения и определения форм аутигенного урана в работе применена модифицированная методика селективного растворения образцов донных отложений (с использованием дополнительных стадий растворения азотной кислотой разной концентрации и температуры) в сочетании с использованием метода альфа-спектрометрии (для измерения изотопного отношения урана $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). Это позволило получить информацию, свидетельствующую в пользу присутствия нескольких новообразованных фаз U(IV) в исследуемых осадках.

The work is devoted to the study of uranium speciation in the modern carbonate sediments of two small lakes of Olkhon region in order to find the evidence of the different mineral phases of uranium (IV) formation at the early diagenesis stages. The modified method of sequential extraction (with additional steps of dissolution by nitric acid of various concentrations and temperatures) combined with alpha-spectrometry method (determination of the isotopic ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) were used for attribution and comprehensive separation of uranium authigenic forms. This allowed to obtain evidence of several authigenic U(IV)-phases presence in the studied sediments.