

3. Гагина Н. В., Федорцова Т. А. Методы геоэкологических исследований: Курс лекций. – Минск: БГУ, 2002. – 98 с.
4. Горошко М. В., Малышев Ю. Ф., Кириллов В. Е. Металлогения урана Дальнего Востока России. – М.: Наука, 2006. – 372 с.
5. Добровольский Г. В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 296 с.
6. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». – М.: Центр метрологии, 2003. – 16 с.
7. Определение урана рентгеноспектральным методом. – М.: Мингео СССР, 1983. – 10 с.
8. Перельман А. И. Геохимия природных вод. – М.: Наука, 1982. – 152 с.
9. Перельман А. И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
10. Радиогеохимические исследования. Методические рекомендации / Под ред. А. А. Смыслова. – М.: Мингео СССР, 1974. – 139 с.
11. Роде А. А. Система методов исследования в почвоведении. – Новосибирск: Наука, 1971. – 92 с.
12. Розанов Б. Г. Морфология почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 320 с.
13. Chevychelov A. P., Sobakin P. I. Radioactive Contamination of Alluvial Soils in the Taiga Landscapes of Yakutia with  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , and  $^{238}\text{U}$  // Eurasian Soil Science, 2017. – V. 50. – № 12. – P. 1535–1544.
14. Sobakin P. I., Chevychelov A. P., Gerasimov Y. R. Migration of natural radionuclides in surface waters in the El'kon uranium mining district, Southern Yakutia // Geochemistry International, 2015. – № 11. – P. 1032–1042.

## УРАН И ТОРИЙ В УГЛЯХ КАЙНОЗОЙСКИХ ВПАДИН ПРИМОРЬЯ

И. Ю. Чекрызов<sup>1</sup>, Н. Ю. Попов<sup>1</sup>, С. И. Арбузов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН  
Владивосток, Россия, chekr2004@mail.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет  
Томск, Россия, siarbuzov@mail.ru

## URANIUM AND THORIUM IN THE COALS OF THE CAINOZOIC BASINS OF PRIMORYE

I. Yu. Chekryzhov<sup>1</sup>, N. Yu. Popov<sup>1</sup>, S. I. Arbuzov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Far Eastern Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences  
Vladivostok, Russia, chekr2004@mail.ru

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia, siarbuzov@mail.ru

The content and distribution of uranium and thorium in the coals of seven Cenozoic brown coal deposits, characterized by different metal content and located in different geological structures of Primorye, have been studied. Coals with high uranium contents and abnormally low thorium-uranium ratio have been found within the Voznesensk terrane at two brown coal and one germanium-coal deposit. It is noted that anomalous uranium accumulations are characteristic mainly of low-ash coal layers and have a hydrogenic genesis associated with the removal of the basin framing from granites.

### Введение

На территории Приморья известно около 50 кайнозойских впадин, большинство из которых характеризуются промышленной угленосностью. В них сосредоточена значительная часть разведанных мировых запасов германия [6, 8]. Также, в осадочных и вулканогенно-осадочных угленосных комплексах впадин установлены многочисленные проявления благородно- и редкометалльной минерализации, в том числе таких радиоактивных элементов как уран и торий [5, 8, 11 и др.]. Целью работы была оценка содержания урана и тория в углях семи кайнозойских

буроугольных месторождений, характеризующихся различной металлоносностью и расположенных в различных геологических структурах Приморья. Также были рассмотрены особенности переноса и накопления урана и тория из пород обрамления в угленосные отложения.

### Краткая характеристика изученных месторождений

Изученные буроугольные месторождения приурочены к наложенным кайнозойским впадинам в пределах трех террейнов, сложенных различными

по составу докайнозойскими комплексами пород (рис. 1). Возновское и Ванчинское месторождения расположены в прибортовых частях Зеркальненской и Ванчинской вулкано-тектонических впадин и находятся на площади таухинского террейна, представленного преимущественно терригенными и вулканотерригенными морскими и прибрежно-морскими отложениями раннемеловой аккреционной призмы, в зоне влияния наложенного верхнемелового Восточного Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Обрамление впадин сложено вулканитами преимущественно кислого состава. Вулканогенные, в основном пирокластические отложения кислого и основного состава, также присутствуют и в составе угленосных отложений эоцен-олигоценного возраста и отражают кайнозойский субсинхронный угленакопленiu этап вулканизма. Угли месторождений преимущественно витринитовые марки ЗБВ. В углях Возновского месторождения ранее было зафиксировано повышенное содержание Zr, Nb, Ta, а также лантаноидов и иттрия (РЗЭ), обогащающих приконтактные к тонштейну угли [1]. Угли Ванчинской впадины известны своей металлоносностью и содержат повышенные концентрации РЗЭ, Au и Ge [9]. На Возновском и Ванчинском месторождениях опробованы по одному безымянному угольному пласту.

Нежинское, Раковское и Павловское бурогольные месторождения, а также германий-угольное месторождение Спецугли расположены в пределах Пушкинской, Раковской и Павловской наложенных тектонических впадин и находятся на площади Вознесенского террейна, сложенного гетерогенными преимущественно палеозойскими отложениями и гранитами. Фундамент и борта Пушкинской впадины представлены верхнемеловыми терригенными и вулканотерригенными отложениями. Угленосные отложения олигоценного возраста в пределах месторождения перекрыты миоценовыми вулканогенно-осадочными отложениями и плиоценовыми платобазальтами. Обрамление и фундамент близрасположенных Павловской и Раковской впадин сложены преимущественно палеозойскими гранитами и кембрийскими осадочно-вулканогенными метаморфизованными отложениями. Угли месторождений слабометаморфизованные (марки Б1и Б2). Угленосные отложения Павловской впадины вмещают одно из крупнейших в мире месторождений германия (Спецугли), здесь также известны аномальные накопления W, Mo, Sb, Hg, As, Li, Rb, Cs, Be, U, Y, лантаноидов, Zn и Ga в германиеносных и энергетических углях [3, 4, 6, 8]. В Раковской впадине, наряду с твердым топливом, обнаружены месторождения

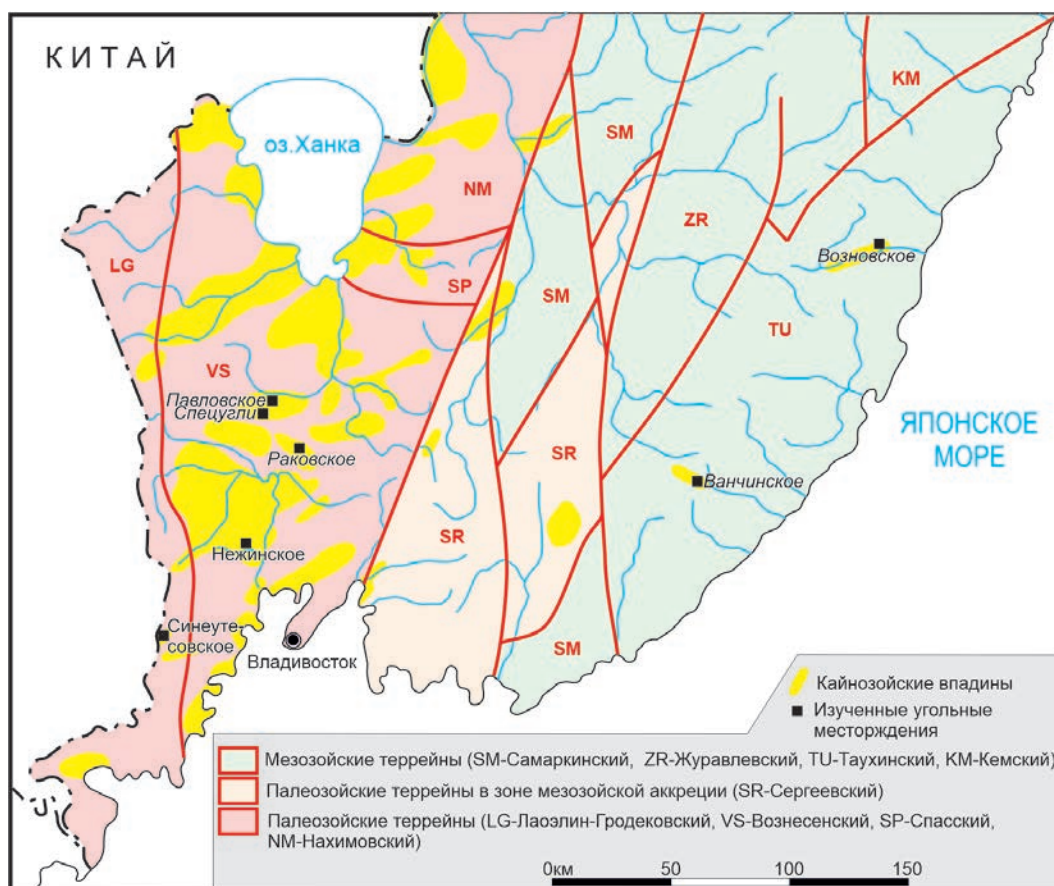


Рис. 1. Схема расположения изученных месторождений. Докайнозойские террейны даны по (Ханчук и др., 1995)

и рудопроявления урана, германия и РЗЭ, залегающие как в угольных пластах, так и вмещающих их слаболитифицированных кайнозойских отложениях, а также в кристаллических породах фундамента и обрамления впадины [5, 7, 11]. На Павловском месторождении был опробован угольный пласт I, на германий-угольном месторождении Спецугли пласты II нижний, II верхний III нижний. На Раковском месторождении опробован пласт III на Западном и Восточном участках.

Синеутёсовское месторождение расположено в одноименной впадине в пределах Лаоелин-Гродековского террейна, сложенного преимущественно пермскими образованиями древней островной дуги. Угленосные отложения раннемиоценового возраста вмещают угольный пласт, представленный углем марки 2БВ с прослоем слабоизмененного пеплового туфа риолитового состава. Здесь был опробован один безымянный пласт.

### Материалы и методы

Пробы угля на угольных месторождениях отбирались секциями по 5–10 см от подошвы к кровле, в зависимости от литологии и мощности пластов. Состав элементов-примесей, в том числе уран и торий, изучен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7700x (AgilentTechn., США) в лаборатории аналитической химии Центра коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Содержание элементов в углях определялось с использованием двух методов пробоподготовки: с предварительным озолением и без озоления с химическим разложением, показавшими хорошую сходимость результатов по торию и урану. Для статистики отбирались пробы угля с зольностью менее 50 %.

### Результаты и обсуждение

По результатам аналитических исследований установлено, что аномальные (> 15 г/т в угле) содержания урана, отмечены на трех месторождениях – Павловском, Спецугли и Раковском (Западный участок). При этом если для первых двух месторождений аномальны только единичные пробы, то для Западного участка Раковского месторождения все угли в сечении III пласта являются аномальными по урану (табл. 1).

Торий-урановое отношение для проб с рядовыми содержаниями урана резко отличается от такового для аномальных проб (рис. 2). Если для большинства проб с околорудовым и немного повышенным ураном характерно Th/U отношение от 2 до 5 и для небольшого количества проб от 1 до 2 и от 5 до 6, то для всех аномальных проб Th/U < 1, иногда значительно. Это свидетельствует о гидрогенном характере накопления аномальных концентраций урана в углях приморских месторождений [2].

Для выяснения характера корреляции содержания урана и тория в углях с зольностью проб были построены диаграммы распределения зольности и содержаний U и Th в сечении пласта III на Раковском месторождении (с аномальными содержаниями урана) и сечения угольного пласта на Возновском месторождении (с рядовыми содержаниями урана) (рис. 3). В обрамлении Раковской впадины залегают палеозойские редкометалльные граниты с развитыми корами выветривания и, соответственно, при благоприятных условиях сноса торфяники обогащались торием и ураном, переносимых как в кластогенной, так и растворенной формах. Корреляция с зольностью позволяет сделать вывод, что уран переносился преимущественно гидрогенным способом и нака-

**Таблица 1.** Th и U в рядовых и аномальных по содержанию угля месторождений Приморья

Месторождение	Число проб	A <sup>d</sup> , %	Содержание элементов, г/т		
			уголь		
			Th	U	Th/U
Рядовые содержания (U < 15 г/т)					
Возновское	8	27,6	8,2	2,50	3,2
Ванчинское	20	25,6	9,3	3,76	2,5
Нежинское	9	19,7	6,2	1,25	4,8
Павловское	15	23,8	8,2	2,08	4,2
Раковское (Восточное)	9	30,8	22,5	7,90	2,9
Синеутесовское	9	27,0	6,2	1,50	4,3
Спецугли	25	19,0	7,1	2,52	3,3
Аномальные содержания (U > 15 г/т)					
Павловское	1	32,5	6,3	1967	> 0,01
Раковское (Западное)	9	9,77	5,3	52,5	0,10
Спецугли	1	10,27	4,0	26,5	0,15

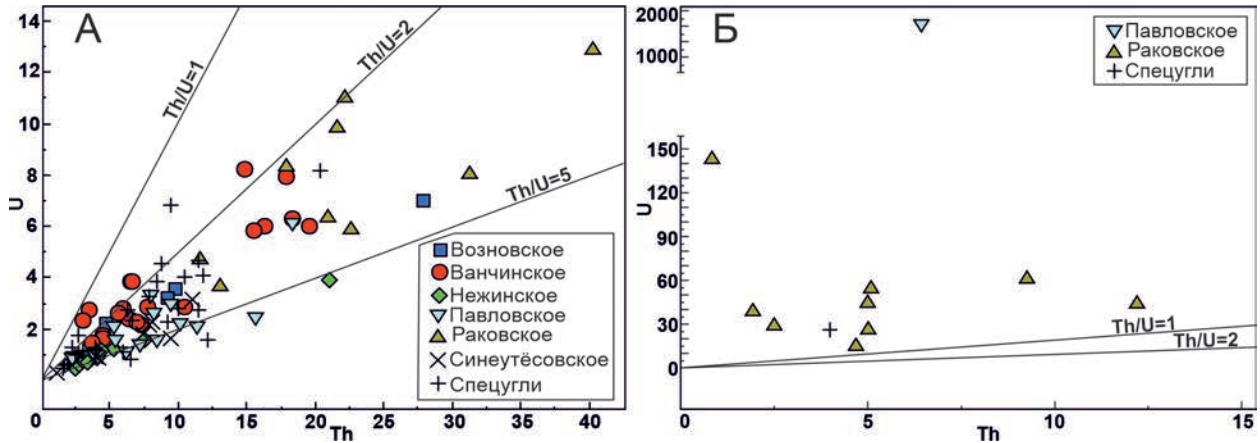


Рис. 2. Содержание урана, тория и торий-урановое отношение для проб с рядовыми (А) и аномальными (Б) содержаниями урана

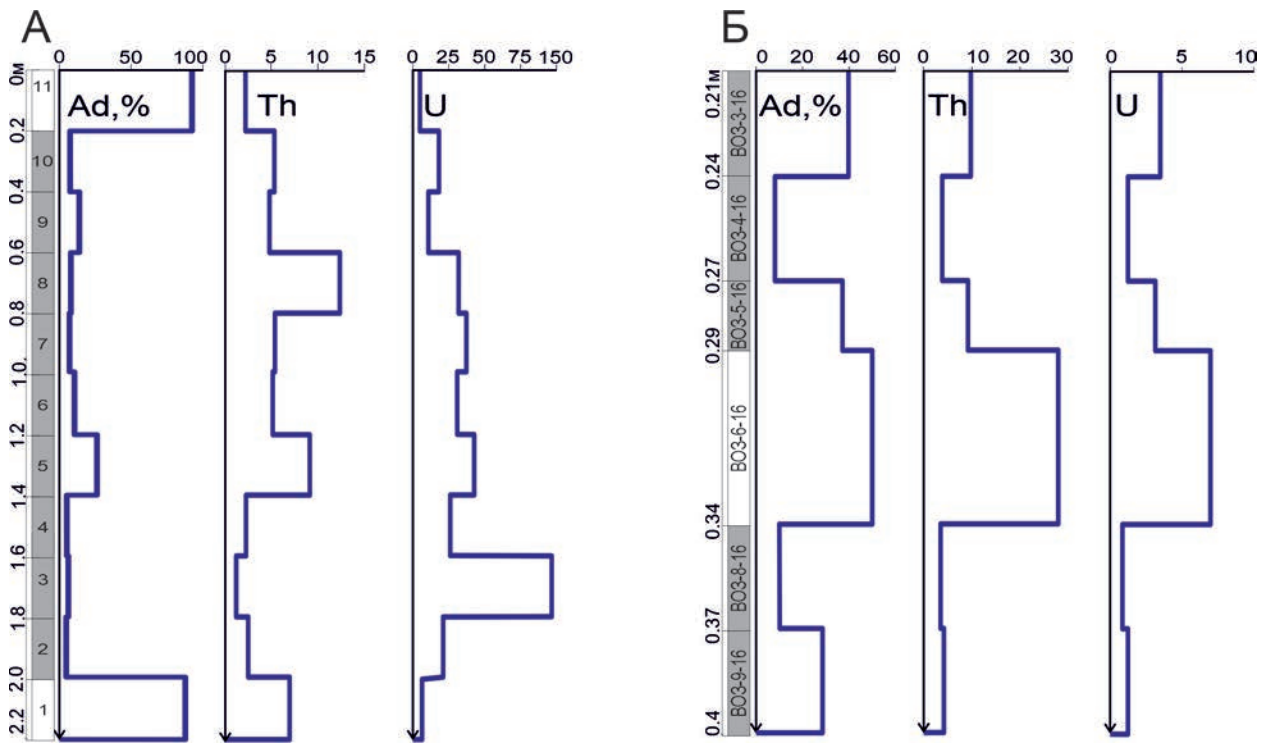


Рис. 3. Распределение зольности и содержаний U и Th в сечении пласта III на Раковском месторождении (А) и сечении пласта 1 на Возновском месторождении (Б)

пливался в органическом веществе, что для него характерно [2]. Наличие различных путей поступления радиоактивных и редкоземельных элементов в угли Раковской впадины уже были нами обоснованы ранее [11]. На обрамлении Возновского месторождения залегают кайнотипные вулканиты основного и кислого состава. Четкая положительная корреляция содержаний урана и тория с зольностью (рис. 3) и высокое торий-урановое отношение свидетельствуют о почти исключительно кластогенном их поступлении в торфяник.

### Заключение

Угли с высокими содержаниями урана и аномально низким торий-урановым отношением установлены на двух буроугольных и одном германий-угольном месторождении Приморья. Аномальные накопления урана характерны преимущественно для малозольных угольных прослоев и имеют гидрогенную природу, связанную со сносом с гранитов обрамления впадин, расположенных в пределах Вознесенского террейна.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-17-00004).



## Литература

1. Арбузов С. И., Кикина Е. В., Чекрыжов И. Ю., Блохин М. Г., Иванов В. В., Зарубина Н. В., Юйчжуан Сунь, Цуньян Чжао. Вулканогенный пирокластический материал – источник редких металлов в углях Возновского буроугольного месторождения, Приморский край, Россия // Материалы Всероссийской конференции «Комплексное использование потенциала каменных и бурых углей и создание комбинированных экологически безопасных технологий их освоения» 20–22 сентября 2017 г. – Благовещенск, 2017. – С. 95–99.
2. Арбузов С. И., Рихванов Л. П. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 4-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 341 с.
3. Арбузов С. И., Чекрыжов И. Ю., Ильенок С. С., Соколов Б. Р., Соболева Е. Е. Новые данные по геохимии и условиям образования германий-угольного месторождения Спецугли (Приморский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2021. – Т. 332. – № 5. – С. 17–38.
4. Вялов В. И., Наставкин А. В., Шишов Е. П. Особенности распределения сопутствующих германию промышленно ценных микроэлементов в углях Павловского месторождения (участок «Спецугли») // Химия твердого топлива. – 1. – № 1. – С. 17–28.
5. Коковкин А. А. Эндогенные уран-полиэлементные рудообразующие системы рифтогенных структурах юга Дальнего Востока России // Отечественная геология, 2006. – № 2. – С. 5–12.
6. Костин Ю. П., Мейтов Е. С. К генезису месторождений высокогерманиеносных углей и критериям их поисков // Известия АН СССР. Серия геологическая, 1972. – № 1. – С. 112–119.
7. Седых А. К. Кайнозойские рифтогенные впадины Приморья. – Владивосток Дальнаука, 2008. – 248 с.
8. Середин В. В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения // Угольная база России. Т. VI. – М.: Геоинформмарк, 2004. – С. 453–519.
9. Середин В. В., Чекрыжов И. Ю. Рудоносность Ванчинского грабена (Приморье) // Геология рудных месторождений, 2011. – Т. 53. – № 3. – С. 230–249.
10. Ханчук А. И., Раткин В. В., Рязанцева М. Д., Голозубов В. В., Гонохова Н. Г. Геология и полезные ископаемые Приморского края. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 82 с.
11. Чекрыжов И. Ю., Середин В. В., Арбузов С. И. Редкоземельные элементы и уран в углях Раковской впадины, Южного Приморья // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября 2016 г. – С. 703–706.