

A. P. KARPINSKY RUSSIAN GEOLOGICAL RESEARCH INSTITUTE
(VSEGEI)

V. K. KUSHNERENKO
A. M. KARPUNIN
YU. B. MIRONOV

**RADIOGEOCHEMICAL FEATURES
AND RADIOECOLOGICAL ASPECTS
OF SAXO-THURINGIA (GERMANY)**

VSEGEI Press
St. Petersburg
2015

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А.П. КАРПИНСКОГО (ВСЕГЕИ)

В. К. КУШНЕРЕНКО
А. М. КАРПУНИН
Ю. Б. МИРОНОВ

ОСОБЕННОСТИ РАДИОГЕОХИМИИ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ САКСО-ТЮРИНГИИ (ГЕРМАНИЯ)



Издательство ВСЕГЕИ
Санкт-Петербург
2015

УДК 550.42:546.679:628.398(430)

Кушнеренко В. К., Карпунин А. М., Миронов Ю. Б. Особенности радиогеохимии и радиоэкологические аспекты Саксо-Тюрингии (Германия) / ред. Ю. Б. Миронов. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. – 132 с. ISBN 978-5-93761-236-6

Рассмотрены особенности геологии и радиогеохимии Саксо-Тюрингской металлогенической области Германии. Приведена краткая характеристика основных геолого-промышленных типов месторождений урана, разрабатывавшихся в XX в. СГАО «Висмут». Особое внимание уделено главным радиоэкологическим аспектам и рекомендациям для безопасного проживания населения в отработанных урановородных районах.

Для специалистов, преподавателей геологических учебных заведений и широкого круга читателей.

Ил. 13, табл. 21, сп. лит-ры 39 наименований.

Авторы

В. К. Кушнеренко, А. М. Карпунин, Ю. Б. Миронов

Редактор *Ю. Б. Миронов*

Рецензенты

Пинский Э. М., доктор геол.-минер. наук, вед. научный сотрудник ВСЕГЕИ

Румянцев Н. Н., канд. геол.-минер. наук, консультант ОГУМРЭ ВСЕГЕИ

Kushnerenko V. K., Karpunin A. M., Mironov YU. B. Radiogeochemical features and radioecological aspects of Saxo-Thuringia (Germany) / Editor Yu. B. Mironov. – SPb.: VSEGEI Press, 2015. – 132 p.

Geological and geochemical features of the Saxo-Thuringian metallogenic area, Germany, are discussed. Brief description of main commercial geological types of uranium deposits mined in the 20th century by SGAO “Bismuth” is given. Particular attention is paid to main radioecological aspects and recommendations for safe living in mined-out uranium districts.

The paper is intended for specialists, professors of geological institutes and universities, and general public.

13 ills., 21 tables, 39 refs.

Authors

V. K. Kushnerenko, A. M. Karpunin, Yu. B. Mironov

Edited by *Yu. B. Mironov*

Reviewers

Pinsky E. M., Dr. of geol.-miner. sciences, Leading Researcher, VSEGEI

Rumyantsev N. N., Cand. of geol.-miner. sciences, Consultant, OGUMRE VSEGEI

ISBN 978-5-93761-236-6

© Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, 2015

© Коллектив авторов, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Развитие мирового прогресса требует вовлечения в сферу деятельности человека всё новых источников энергии. В прошлом веке таким источником стала энергия атома.

Производство ядерного топлива для атомных электростанций (АЭС) осуществляется из руд урановых месторождений, залегающих в породах, обладающих, как правило, повышенной природной радиоактивностью. Изучение характера и особенностей распределения радиоактивных элементов (U, Th, Rn) в горных породах и природных ландшафтах в местах постоянного проживания населения, где находятся месторождения радиоактивных руд, обусловившие радиоэкологические особенности территории, определило в конечном счете актуальность проблемы и главную цель работы.

Именно к таким территориям принадлежит Саксо-Тюрингская металлогеническая область Германии (федеральные земли Тюрингии (Thuringen), Саксония (Sachsen) и Саксония-Ангальт (Sachsen-Anhalt), далее — Саксо-Тюрингия) (рис. 1) [Diercke Weltatlas, 1988] с уникальными урановорудными объектами — Роннебургским рудным полем, включающим серию крупных месторождений стратиформного прожилково-вкрапленного оруденения (Шмирхау, Беервальде, Ройст и др.) и урановорудное поле Шлема-Альберода (Нидершлема-Альбероде) с жильными месторождениями рудногорского типа, выявленными в XX в. советскими и немецкими геологами на Юго-Востоке Германии. Эти уникальные объекты пространственно ассоциируют с так называемой продуктивной толщей, основным компонентом которой являются ураноносные углеродистые чёрные сланцы (УЧС) силурийского возраста, обладающие отчётливой геохимической специализацией на уран и целый ряд других элементов.

Для установления закономерностей распределения радиоактивных элементов в горных породах Саксо-Тюрингии были



Рис. 1. Административная карта Германии [Diercke Weltatlas, 1988]

использованы результаты около 50 000 гамма-спектрометрических и рентгеноспектральных определений урана и тория в геохимических пробах, отобранных в разное время, в том числе и одним из авторов в период его работы в СГАО «Висмут». Результаты анализов обработаны с использованием компьютерных технологий. В итоге выполнено радиогеохимическое районирование, позволившее сделать ряд конкретных выводов и рекомендаций по радиоэкологическим аспектам региона.

В основу радиогеохимического анализа положен принцип тесной взаимосвязи и взаимообусловленности процессов формирования геохимического фона урана и тория земной коры с процессами рудообразования, являющихся частным случаем проявления направленной миграции рудных элементов [Смыслов, 1974], которая в благоприятных условиях среды приводит к существенной концентрации последних и образованию промышленных месторождений. Формирование геохимического фона горных пород и рудных концентраций урана и тория в истории геологического развития различных структур земной коры обусловлено проявлением двух групп процессов – сингенетических (осадконакопление и магматизм) и эпигенетических (региональный контактовый, гидротермальный метаморфизм).

Урановые месторождения Саксо-Тюрингской металлогенической области Германии по своему генезису принадлежат к группе полигенных и полихронных рудных объектов и имеют важное значение. Понятие о последних введено в геологическую литературу Паулем Зуффарди [Zuffardi, 1968, 1969] и академиком В. И. Смирновым [1967]. В практическом отношении урановые месторождения Саксо-Тюрингии сыграли большую роль в создании ядерного щита СССР и стран Варшавского договора.

СГАО «Висмут» эффективно работало до 1991 г. Весь добываемый уран поставлялся в Советский Союз вначале для производства атомного оружия, а затем изготовления твэлов для АЭС. В лучшие годы добыча урана составляла 7000 т в год. За 55 лет работы СГАО «Висмут» было открыто 69 месторождений урана, вовлеченных в изучение и эксплуатацию.

При подготовке работы использовались различные, ставшие доступными в последние годы, фондовые материалы, а также публикации разных лет советской, российской и немецкой литературы.

Авторы выражают благодарность рецензентам доктору геол.-минер. наук Э. М. Пинскому, канд. геол.-минер. наук Н. Н. Румянцеву, сотрудникам отдела геологии урановых месторождений

и радиозологии ВСЕГЕИ за критические замечания и поддержку, сделавшие возможной публикацию этих материалов в открытой печати, а также Е. А. Арсентьевой за техническое оформление рукописи.

Монография печатается по решению Ученого совета ФГУП «ВСЕГЕИ».

Глава 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ УРАНОНОСНОСТИ И РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ГЕРМАНИИ

Учитывая большую роль Германии в становлении и развитии мировой атомной энергетики, интересно познакомиться с историей изучения ураноносности её продуктивных территорий.

В 30–40-х годах прошлого века ученые подошли к возможности получения нового мощного вида энергии на основе расщепления атомов урана. Резко возрос интерес к урановому сырью. Немецкие геологи провели ревизию старых месторождений Рудных гор и оценили общие возможные запасы урана в 15 т металла. В 1940–1944 гг. немецкие горные предприятия добывали урановую руду в Шнееберге и Иоганнгеоргенштадте. Учитывая большое количество целебных источников радоновых вод с высокой концентрацией (до 100 тыс. эман – источник Гинденбурга) в районе курортов Обершлема и Нидершлема, немецкие специалисты сделали вывод, что уран весь разложился и перешёл в радий, поэтому поиски урана здесь не имеют перспектив [Марченко, 2014].

В самом начале второй мировой войны от советских агентов стали поступать сведения об интенсивных работах в Германии по созданию ядерного оружия. В сентябре 1942 г. Советский Союз приступил к разработке своего ядерного проекта. Академику А. Ф. Иоффе предписывалось возобновить исследования по осуществимости использования атомной энергии путём расщепления ядра урана. 11 февраля 1943 г. эти работы возглавил И. В. Курчатов. 22 декабря 1943 г. он довёл до сведения заместителя Председателя Правительства М. Г. Первухина, что узким местом в решении данной проблемы остаётся вопрос о количестве необходимого урана и запасов уранового сырья. В это время разрабатывались только мелкие месторождения в Средней

Азии. На начало 1944 г. в Советском Союзе имелось лишь 10 т солей урана, а для запуска уран-графитового котла было нужно не менее 100 т. В 1944 г. в стране было добыто 1500 т руды, или 2 т солей урана. Учитывая слабую изученность территории СССР на уран, в целях скорейшей ликвидации его дефицита, взоры геологов были обращены на доступные для геологических исследований страны с установленными месторождениями урана (Германия, Чехия, Румыния), исходя из старой горняцкой приметы «Ищи руду около руды».

Американцы в это время уже овладели германскими геологическими архивами, в которых, наряду с прочим, указывалось на урановую бесперспективность Рудных гор. Однако, по мнению советских геологов, привлеченных к решению данной проблемы, полагалось, что этот район ещё далеко не раскрыл свой урановый потенциал. Учитывая эти представления, И. В. Сталин на Ялтинской конференции в феврале 1945 г. согласился отдать три четверти Берлина за Саксонию и Тюрингию. Между тем американцы нарушили принятые на конференции договоренности: войска США должны были остановиться в Тюрингии в районе г. Эрфурт, но они прошли почти 300 км на восток и встретились с Советскими войсками на р. Эльба, недалеко от Дрездена.

Сразу же в районы Рудных гор была направлена специальная секретная миссия американской разведки, в состав которой входили геологи. Они провели ревизию всех старых рудных месторождений с проявлением урановой минерализации. Для ревизии привлекались и немецкие специалисты. В итоге ревизионных работ, проводимых в крайне сжатые сроки, американцы согласились с выводами немецких геологов о потенциальных запасах урана в Рудных горах всего в 15 т.

В июле 1945 г. по настоянию СССР американцы вывели свои войска из Иоганнсгеоргенштадта, а советские части, в соответствии с Ялтинскими соглашениями, вошли на территорию Саксонии и Тюрингии. Уже в сентябре 1945 г. советской стороной была создана Саксонская урановопоисковая партия во главе с Семеном Петровичем Александровым, который как организатор сыграл важную роль в открытии крупных урановых месторождений в Рудных горах. К концу 1945 г. запасы урана были оценены в 150 т, а в апреле 1946 г. в результате геологических поисков они возросли до 1500 т. В августе 1946 г. были закрыты курорты в Обершлеме и здесь начались специализированные на уран геологические поисково-разведочные работы.

Весной 1947 г. Саксонское горное управление было преобразовано в СГАО (советское государственное акционерное об-

щество) «Висмут» (SAG Wismut – Sowjetische Aktiengesellschaft). Генеральным директором был назначен М. М. Мальцев. Общество было передано в счёт репараций Советскому Союзу. Началась добыча урановых руд в Аннаберге, Шнееберге и Мариенберге.

В 1948 г. вводятся в эксплуатацию месторождения Беренштайн, Фрайталь, Нидерпёбель, Зайфенбах и весьма крупное месторождение Нидершлема-Альбероде, работы на котором закончились только в 1990 г. (до глубины 2 км).

В 1949 г. открыты месторождения Цобес, Шнеккенштайн и Берген. Уже в следующем 1950 г. в Советский Союз было отгружено 2500 т урана, в то время как произведено всего 1000 т (www.Wismut/Wikipedia). Таким образом ставка на поиски месторождений урана в первую очередь за рубежом в известных урановорудных районах полностью себя оправдала.

В 1950 г. начались поиски в Восточной Тюрингии, в результате которых обнаружено рудное поле месторождений урана в чёрных сланцах (Роннебург).

К 1950 году в АО «Висмут» работали около 200 тыс. человек, в том числе 11 тыс. советских специалистов и 10 тыс. военных. В 1953 г. действовало около 30 шахт и 10 обогатительных фабрик (www.wismut.su).

1 января 1954 г. в связи с завершением выплаты военных репараций СГАО «Висмут» было преобразовано в совместное советско-германское акционерное общество «Висмут» (SDAG Wismut – Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft), деятельность которого была прекращена 1 января 1991 г.

Развитие ядерной энергетики в мире затронуло и Германию. В свое время мощная уранодобывающая промышленность существовала в Восточной Германии. Совместное СГАО «Висмут» занимало по добыче урана третье место в мире. После объединения ГДР и ФРГ оказалось нерентабельным продолжать добычу урановой руды в связи с истощением запасов.

Территория Западной Германии в силу природных особенностей не обладала серьезными месторождениями урановых руд, поэтому собственные производства, составляющие топливный цикл, были сформированы лишь частично. Источником урановой руды для ФРГ были Канада, Австралия и Нигер. Гексафторид урана производился в Канаде, Франции и Великобритании. Получение U-235 поначалу производилось за рубежом, но со временем это производство было освоено в Германии. Фабрикацию топлива (таблетки двуокиси урана, твэлы) немцы производили сами, причем даже имели избыточные производственные мощности (ru.Wikipedia.org).

Будучи зависимыми от зарубежной урановой руды, немецкие специалисты активно работали над замыканием ядерного топливного цикла. Предполагалось на заводах Франции и Великобритании извлекать плутоний из отработанного ядерного топлива германских АЭС и использовать его для производства уран-плутониевого топлива. Концерн «Сименс» даже начинал такое производство.

В 1961 г. в ФРГ вступила в строй первая атомная электростанция «Каль» с кипящим реактором BWR (ru.Wikipedia.org). Ее мощность составляла всего 15 МВт, однако уже в 1969 г. начала работу первая коммерческая АЭС «Обригхайм» с легководным реактором PWR промышленного уровня мощностью 340 МВт. Эти два типа реакторов в дальнейшем и составляли основу атомной энергетики ФРГ, хотя в реакторном парке присутствовали и другие разновидности, например: высокотемпературный газоохлаждаемый, канальный и быстрый натриевый.

Уверенный старт позволял надеяться на хорошие перспективы. Атомная энергетика пользовалась приоритетом в западно-германской энергетической политике 60–70-х годов, который только укрепился в годы взлета мировых цен на нефть и глобального энергетического кризиса. Долю выработки электроэнергии на АЭС предполагалось постепенно довести до 45 %. Впрочем, этот план не был выполнен. Своего максимума атомная энергетика Германии достигла к 1990 г. – около 30 %.

С самого начала сформировались и основные принципы немецкой атомной энергетики. Как правило, площадки АЭС находятся в низовьях и среднем течении рек. Размещение рассредоточенное, с привязкой к местным потребителям в районах, не обладающих достаточными топливными ресурсами, преимущественно на севере и юге страны. Поэтому большинство АЭС имеют всего лишь один-два энергоблока, причем мощность каждой станции, построенной в 60–70-х годах, не превышает 1000 МВт. Такое децентрализованное расположение способствует выравниванию условий энергоснабжения и ценовой политики между регионами.

Несмотря на расцвет атомной энергетики, случались и некоторые казусы, свидетельствующие о неоднозначности ее восприятия обществом, которое в ряде случаев даже готово безвозвратно поступиться понесенными затратами. Так, едва начавшись, почти сразу завершилась эксплуатация канального реактора АЭС «Нидерайхбах». Был построен, но так и не приступил к работе быстрый натриевый реактор на АЭС «Калькар». Всего чуть больше года проработала и была остановлена по формальным причинам АЭС «Мюльхайм-Кэрлих».

Впрочем, эти события терялись на фоне успехов атомной отрасли. Германия стала единственной страной Западной Европы, которая не только построила гражданское судно с атомной энергоустановкой – сухогруз «Отто Ган», но и на протяжении десяти лет осуществляла его успешную коммерческую эксплуатацию. Помимо интенсивно развивающихся АЭС, в стране эксплуатировалось несколько десятков исследовательских ядерных реакторов. Велись работы по освоению уран-плутониевого топлива, созданию замкнутого ядерного топливного цикла. Доминирующее положение в реакторостроении заняла фирма «Крафтверк Унион» (позднее вошла в концерн «Сименс»), которая успешно конкурировала даже на внешнем рынке, являясь головным подрядчиком при сооружении десяти АЭС в Нидерландах, Швейцарии, Аргентине, Австрии, Бразилии, а также начинала строительство иранской АЭС в Бушере.

Последним, вступившим в строй в ФРГ атомным блоком, стал в апреле 1989 г. энергоблок № 2 АЭС «Неккарвестхайм».

Позднее политическая ситуация резко изменилась. Подогреваемые «зелеными» антиатомные настроения общественности порождали протестные акции даже в разгар энергетического кризиса 1970-х. В 1975 г. демонстранты захватили и 9 месяцев удерживали площадку строительства АЭС «Виль», что привело к отказу от ее сооружения. Жертвами протестов стали АЭС «Калькар» и проработавшая всего 14 месяцев АЭС «Мюльхайм-Кэрлих», предприятия замыкания ядерно-топливного цикла. Авария на АЭС «Чернобыль» усилила эти настроения. А в конце 1990-х годов к власти в Германии пришли «зеленые», которые активно использовали в своих политических целях тему борьбы с атомной энергетикой. Так начался закат немецкой атомной эпохи.

В 2000 г. правительство и энергетики заключили «атомный консенсус», на основании которого в 2002 г. был принят «Закон о регулируемом прекращении использования ядерной энергии для промышленного производства электроэнергии». Каждой АЭС определялся разрешенный к выработке объем электроэнергии и срок эксплуатации (32 года), по истечении которых ее необходимо закрыть. Последний энергоблок должен был завершить работу в 2021 г.

В 2010 г. в эксплуатации оставалось 17 энергоблоков, которые производили 23–28 % всей электроэнергии. Учитывая реальную обстановку и сложности с вводом замещающих мощностей, правительство решило продлить время эксплуатации этих АЭС на срок 8–14 лет, то есть полная ликвидация атомной энергетики отодвинулась на 2035 г. Данное решение правитель-

ства вызвало очередные политические манифестации, общественные протесты, иски в Федеральный конституционный суд. В это время произошла авария на АЭС «Фукусима», которая нанесла большой удар по Германии, нежели Японии.

В марте 2011 г. Германия на три месяца останавливает свои АЭС, построенные до 1980 г., и подвергает все станции проверке Федеральной комиссией по эксплуатационной безопасности реакторов. Каких-либо критических рисков не было выявлено, однако правительство прислушивается не к выводам специалистов, а к мнению так называемой этической комиссии, разделяющей взгляды «зеленых». В результате из 17 действующих энергоблоков восемь прекращают работу окончательно, а оставшиеся девять должны быть постепенно закрыты в срок до 2022 г.: АЭС «Графенрайнфельд» в 2015 г., блок № 2 АЭС «Гундремминген» в 2017, «Филиппсбург» в 2019, «Гронде», «Брокдорф» и блок № 3 АЭС «Гундремминген» в 2021, «Изар», «Эмсланд» и «Неккарвестхайм» в 2022. Все остановленные атомные станции постепенно будут демонтированы: эта технология уже отработана на АЭС «Гросвельцхейм», «Каль» и «Нидерайхбах», которые были окончательно разобраны, а площадки рекультивированы и приведены в исходное состояние. Таким образом атомная энергетика Германии в ближайшем будущем прекратит существование.

Решение властей вызвало ряд судебных исков на общую сумму более 18 млрд евро от немецких и шведских концернов — владельцев досрочно закрываемых германских АЭС. В качестве компенсации неполученных доходов было предложено освободить атомные компании от уплаты в Энергетический и климатический фонд федерального правительства. Однако неотвратимость взятого курса подтвердила канцлер Ангела Меркель, заявив: «Мы можем стать первой крупной индустриальной нацией, которая может достичь такого перехода в направлении эффективной и возобновляемой энергии» (ru.wikipedia.org).

Сегодня Германия является мировым лидером в ветровой энергетике, однако и здесь имеются свои проблемы: нестабильность выработки ветровой электроэнергии, вопросы подключения морских ветропарков к магистральным электросетям, ограниченность использования ветряков в местах, где обычно не бывает сильных ветров, необходимость покрытия зимних максимумов энергопотребления в условиях безветрия и т. д. К тому же, чем больше площадь ветропарка, тем меньше удельная выработка на один ветряк: установки в ветровом потоке начинают мешать друг другу.

Апологеты возобновляемых источников энергии считают это «трудностями переходного периода» и уверены в радужных перспективах, однако сегодня Германии приходится закупать электроэнергию во Франции и Австрии, а также наращивать мощности своих электростанций на природном газе (планируется строительство еще 30 таких энергоблоков). А в наиболее морозную зиму 2011–2012 гг. даже изучался вопрос, не сохранить ли одну из остановленных АЭС в качестве «холодного резерва» энергосистемы.

Изложенный материал подтверждает мнение ведущих специалистов и руководителей российской урановой отрасли (В. Л. Живов, А. В. Бойцов, М. В. Шумилин, 2012) о том, что мировые энергетические проблемы без использования ядерной энергетики просто неразрешимы. Во-первых, никакие возобновляемые источники энергии – ветровая, солнечная, даже традиционная гидроэнергетика – не способны повсеместно принять на себя основную роль в базовых режимах, т. е. в режимах постоянной устойчивой нагрузки. Хотя, конечно, они будут играть увеличивающуюся роль в качестве дополнительных источников, призванных обеспечить экономию ископаемых энергоносителей в условиях продолжающегося роста потребностей человечества в энергии. Во-вторых, мировые ресурсы органического топлива, прежде всего нефти и газа, хотя еще и велики, но конечны, а себестоимость их получения и соответственно цены устойчиво растут. В-третьих, возникают довольно острые вопросы об экологии среды обитания, негативное влияние на которую в наибольшей степени оказывают технологии производства энергии, основанные на сжигании органического топлива.

Максимальное обеспечение работы атомных электростанций – гарантия устойчивого развития ядерной энергетики в мировом масштабе.

Имеющиеся негативные прецеденты радиационной опасности от подобных объектов (Чернобыль, Фукусима) предопределяют необходимость максимально аккуратного отношения к ядерному топливу как на стадии его эксплуатации, так и на более ранних стадиях его поисков, разведки и особенно геолого-радиоэкологической оценки территории после проведения разведочных и эксплуатационных работ. В этом отношении Восточная Германия, на объектах которой в свое время проводилась интенсивная обработка ядерного сырья, нуждается в оценке и анализе природных особенностей радиогеохимических свойств горных пород, из которых оно было извлечено, и прогнозной оценке радиоэкологических проблем в отрабо-

таных урановорудных районах, чему и посвящена настоящая монография. Прежде всего, читателю необходимо познакомиться с геологией Саксо-Тюрингии на основе общих сведений о стратиграфии, магматизме и тектонике характеризуемой территории. Более подробные данные по этим вопросам приведены в многочисленных публикациях и научных изданиях, часть их которых — в списке литературы.

Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ САКСО-ТЮРИНГИИ

2.1. Стратиграфия

Саксо-Тюрингская структурно-фациальная зона является одной из геотектонических единиц внешнего обрамления Чешского срединного массива доварисской консолидации. В её истории геологического развития выделяются три периода. Первый характеризует историю формирования допалеозойского (протерозойского) кристаллического основания, второй – возникновение и развитие варисского складчатого пояса и третий – существование данной территории в условиях эпиварисской платформы [Величкин, 1971]. В соответствии с этими периодами геологические образования рассматриваемой зоны разделяются на три структурных этажа: нижний, представляющий собой протерозойский кристаллический фундамент, средний, сложенный палеозойскими осадочными и вулканогенно-осадочными породами геосинклинального (коллизийного) этапа развития региона, и верхний, платформенный, образованный верхнепалеозойскими и мезо-кайнозойскими эффузивными и осадочными породами.

Среди протерозойских образований наиболее древние – гранатовые и гранат-биотитовые и биотит-силлиманитовые плагиогнейсы, а также толща двуслюдяных гнейсов с горизонтами кварцитов и линз амфиболитов (мариенбергские и фрайбергские гнейсы). Эти породы распространены главным образом в Рудных, Гранулитовых горах и в виде небольших выходов – в районе Киффхойзера. В протерозойском разрезе присутствуют также толщи менее метаморфизованных пород – филлитов, сланцев, глинистых аргиллитов, граувакк и кварцитов. Они широко распространены в районе Шварцбургского поднятия и, кроме того, прослеживаются на северо-восток и в обрам-

лении северной части Лаузицкого гранодиоритового массива. В районе Рудных гор отмечается толща протерозоя – кембрия, сложенная слюдяными сланцами с горизонтами метаграувакк, мраморов, кварцитов, амфиболитов. Протерозойские образования сформировались, вероятно, в геосинклинальном режиме, впоследствии были изменены процессами регионального метаморфизма (гранулитовая, амфиболитовая, зеленосланцевая фации).

Средний структурный этаж подразделяется на три структурных яруса.

Нижний ярус слагают преимущественно терригенные породы кембрия, ордовика, силура, нижнего и среднего девона. Кембрийские и особенно ордовикские отложения, представленные филлитами, глинистыми, хлоритовыми сланцами, кварцитами с редкими горизонтами углеродистых филлитов, карбонатных пород и железных руд, широко распространены в районах Рудных гор, Фогтланда, Шварцбургского поднятия, северо-западного обрамления Гранулитовых гор и в Северо-Западной Саксонии. И в протерозойских, и в кембрийских толщах встречаются горизонты углеродистых пород, которые могли исполнять барьерную функцию (в понимании Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис, 2008), т. е. служить геохимическим барьером на пути рудоносных растворов, в частности, при формировании жильных урановорудных тел рудногорского типа.

Кембрийские двуслюдяные и мусковитовые сланцы (с редкими линзами амфиболитов и мраморов) распространены в Рудных горах и в районе Брамбаха. Толща кембрийских образований вытянута в северо-восточном направлении. Другая полоса кембрийских отложений, представленных глинистыми сланцами и песчаниками с горизонтами углеродисто-глинистых и карбонатных пород, прослеживается от северо-западного обрамления Шварцбургского поднятия на северо-восток, будучи закартирована в Северо-Западной Саксонии и Доберлугской мульде. Кембрийские отложения указанных районов менее метаморфизованы (фация зеленых сланцев) сравнительно с одновозрастными породами Рудных гор (амфиболитовая фация).

Ордовикские отложения тремя параллельными полосами северо-восточного направления широко распространены в районах Шварцбургского, Восточно-Тюрингского поднятий, северо-западного обрамления Гранулитовых гор и Фогтландско-Рудногорской синклинали. Нижний ордовик в основании представлен филлитами, кварцитами, углеродсодержащими и мусковит-хлоритовыми сланцами (фрауэнбахская серия), а верхняя часть – преимущественно филлитами (фикоидная се-

рия) с горизонтами кварцитов. Меньшим площадным распространением пользуются средне-верхнеордовикские отложения в виде пачек филлитов, глинистых и хлоритовых сланцев, иногда с углеродистым веществом (до 0,5–1,0 %), горизонтов железных руд и кварцитов (грефентальская серия). Образования среднего-верхнего ордовика в виде узких полос северо-восточного направления отмечаются там, где имеются выходы отложений нижнего ордовика.

Силурийские углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые породы (черные сланцы) с горизонтами охристых известняков повсеместно распространены в пределах Шварцбургского и Восточно-Тюрингского поднятий, Роннебурга, Фогтланда, Лёснитца, юго-восточного обрамления Гранулитовых гор, Носсен-Вильсдруфских, Эльбтальских, Гёрлицких гор и в Гарце. Силурийские граптолитсодержащие глинистые сланцы (Аллауншифер) включают многочисленные фосфоритовые и пиритовые конкреции. Отмечается переслаивание черных битуминозных и пиритсодержащих глинистых сланцев с кремнистыми сланцами и доломитами. Силурийские отложения в ряде районов Саксо-Тюрингской области являются рудовмещающими (продуктивная толща) для многочисленных урановых месторождений и рудопроявлений роннебургского типа (рис. 2, табл. 1). В силуре Гарца наблюдаются грубые кластические породы – песчаники, граувакки, кварциты. На дневной поверхности силурийские отложения имеют относительно ограниченное распространение в форме отдельных вытянутых горизонтов, согласно залегающих с отложениями ордовика и девона и имеющих в большинстве случаев северо-восточное направление. Лишь в Гёрлицких горах силурийские и силуро-девонские толщи имеют северо-западное простирание и сложены углеродисто-глинистыми и глинистыми сланцами, иногда с прослоями известняков.

Девонские отложения представлены известково-глинистыми и вулканогенно-осадочными образованиями. Среди нижне-среднедевонских отложений отмечаются углисто-глинистые сланцы (низы), тентакулитовые известняки и сланцы, граувакки (средняя часть) и черные (сапропелевые) глинистые сланцы (верхи). Верхнедевонские отложения выражены известковистыми породами, глинистыми сланцами, туфами диабазов и кератофилов, конгломератами, граувакками. Указанные образования распространены в Тюрингско-Фогтландских сланцевых горах, в северо-западном и юго-восточном обрамлении Гранулитовых гор, а также в Гёрлицких горах. В районе Гарца девонские отложения представлены глинистыми и кремнистыми сланцами,



Рис. 2. Урановые месторождения Восточной Германии (1945–1960 гг.)
[Пятов, 2005]

рифовыми известняками и вулканогенными породами – спилитами, диабазами и их туфами, иногда кварцитами. Пестрым литологическим составом характеризуются девонские отложения района Носсен-Вильсдруфских и Эльбтальских гор, среди которых большим распространением пользуются глинистые сланцы, песчаники, диабазы и их туфы, реже – углеродисто-кремнистые сланцы. Мощность отложений девона колеблется от 100 до 200 м (табл. 1).

Средний ярус среднего структурного этажа представлен образованиями верхнего девона и нижнего карбона. Вулканогенно-осадочные и сланцево-граувакковые отложения верхнего девона без перерыва сменяются песчано-глинистыми породами нижнего карбона: глинистыми сланцами, граувакками и реже – известняками. В верхах нижнего карбона отмечаются конгломераты. Отложения нижнего карбона распространены в Восточной Тюрингии, Фогтланде, далее прослеживаются в пределах Рудногорской синклинали, Эльбтальской зоны, Доберлюгской мульды и Гёрлицких сланцевых гор. Аналогичные по литологическому составу породы распространены в районе Гарца.

Мощность нижнекарбонových отложений в отдельных районах (Фогтланд) достигает 2000 м.

Палеозойские отложения ордовикско-нижнекарбонového возраста под влиянием каледонского и варисского циклов тектогенеза подверглись региональному метаморфизму, преимущественно фации зеленых сланцев.

С конца раннего карбона проявилась главная фаза варисского тектогенеза – судетская, в результате которой сформировались крупные складчатые структуры, в основном северо-восточного направления, определившие пликативный структурный облик Саксо-Тюрингской области. В этот период образовались разобщенные участки седиментации (впадины, мульды), где происходило накопление верхнекарбонových отложений, выраженных континентальными угленосными образованиями. По литологическому составу верхний карбон представлен глинистыми сланцами, песчаниками, каменными углями, конгломератами и в ряде случаев вулканогенными породами андезитового состава. Верхнекарбонové породы распространены главным образом в Северо-Западной Саксонии, в восточной части Гарца, на Киффхойзере и наименее в Рудногорской мульде. Мощности отложений верхнего карбона от 100 до 300 м.

Верхний ярус среднего структурного этажа сформировался в завершающий этап развития геосинклинали (коллизийных процессов). Его представляют нерасчлененные красноцветные континентальные молассоидные образования верхнего карбона – нижней перми. Эти отложения занимают относительно крупные площади в Тюрингском Лесу, Северо-Западной Саксонии, Рудногорской мульде, Гёрлицких горах, а также на востоке Гарца и в районе Флехтингена. Низы толщи S_2 – P_1 сложены красноцветными и сероцветными песчаниками, конгломератами, верхи – осадочными и вулканогенно-осадочными породами. Среди вулканитов преобладают в основном кислые породы – риолиты, трахириолиты и их туфы, реже – породы андезитового состава (лавы и пирокласты). Выше этой толщи залегают красноцветные отложения нижней перми (красный лежень) – конгломераты, песчаники, туфопесчаники, глины, каменные угли. Среди нижнепермских угленосных глин, углей и песчаников в Деленском и Штокхаймском бассейнах отмечаются урановые проявления стратиформного типа (Фрайталь).

Верхний структурный этаж представляют уже платформенные образования – терригенные, терригенно-хемогенные и галогенные. Верхнепермские терригенно-галогенные отложения (цехштейн) – известняки, доломиты (иногда битуминозные), ангидриты, каменная и калийная соли. В основании цехштейна

Позиция уранового оруденения в сводном литолого-стратиграфическом разрезе Германии (Саксо-Тюрингия) [Шувалов, 1978] с изменениями

С-ФК	Возраст	Вещественный состав, мощность, м	Название месторождений	Возраст оруденения (млн лет)
Чехла молодой платформы и областей МZ и KZ TMA	Q	Галечники, пески, суглинки, лесс, 0—40	Рупрехтов	30—20
	N—P	Пески, гравий, глины с прослоями бурых углей и базальтов, 150—160	Одерж	
	K	Песчаники, сланцеватые глины, конгломераты, 230—490	Гамр	
	J	Песчаники, глины, известняки, доломиты, гипсы с прослоями углей, каменной соли, 40—60	Кёнигштайн	
	T	Песчаники, глины, известняки, доломиты, мергели, конгломераты с прослоями гипса, каменной соли, углей, 500—1150	Мансфельд	
Переходный	P	Доломиты, песчаники, известняки, глины, гипсы, каменная соль, медистые сланцы, 60—400	Кульмич	90—50
		Конгломераты, песчаники, сланцевые глины с прослоями каменных углей, риолито-дациты, риолиты, андезидациты и их туфы, 700—2900. Рудногорские граниты (P ₁)	Зорге Гауэрн	
Область позднепалеозойской TMA	C	Песчаники, глинистые сланцы, конгломераты, прослой углей, 100—1400. Горские граниты, сиениты (C ₃)	Вельсендорф	190
		Граувакки, глинистые сланцы, песчаники, конгломераты, углерод-содержащие сланцы, силлы диабазов, 90—1500. Гранодиорит-диориты (C ₁), габбродиориты (C ₂)	Фрайталь Трутнов Кладно	180
Собственно геосинклинальной	D	Углисто-глинистые сланцы, известняки, граувакки, силлы диабазов, туфы порфиритов, 250—800. Габброперидотиты (D ₂ ?)	Шлема-Альберола (Нидершлема)	250—270 180
	S	Углеродистые сланцы, кремнистые сланцы, песчаники, переходящие в кварц-серпичитовые сланцы, известняки, 120—500. Габбродиа-базы и порфириты (S)	Цобес Роннебургское	300—310 80—150

и инверсионной стадии развития	О	Песчаники, углисто-глинистые сланцы, песчано-глинистые сланцы с горизонтами турингит-шамозитовых руд, конгломератов, граувакк, кварцитов, амфиболитов, филлитов, 800–2000. Граниты (О) ----- Слюдяные и графитосодержащие сланцы, кварциты, граувакки, конгломераты, скарны, метадиазы, 350–1800. Граниты, гранито-гнейсы, габбро-серпентиниты (Є)	рудное поле Йоганнгеор-генштадт Пршедбожице Яхимов	230–250 180–190 210–215 180
Докембрийского основания	R–Є PR ₂ PR ₁	Гнейсы, кристаллические и слюдяные сланцы, кварциты, граувакки, метаконгломераты, известняки, скарны, 700–1600 ----- Гнейсы, мраморы, кварциты с линзами амфиболитов, кристаллических и слюдяных сланцев, кварциты, граувакки, 1700 Гнейсы, амфиболиты, метаконгломераты, кварциты с прослоями основных и кислых лав и их туфов, 2000–2500 Граниты, гранодиориты (Є), габброгнейсы, гранулиты, гнейсо-сланцы, слюдяные сланцы с прослоями амфиболитов, 650–2700 Гнейсы с прослоями доломитов и кварцитов, 1200 Гнейсы биотитовые и биотит-амфиболовые с прослоями амфиболитов и кварцитов, 1900–3500 Гнейсы силлиманит-кордиерит-биотитовые, 1200–3000	Мариенберг Аннаберг Вайсер-Хирш Пршибрам Бернардов Мнишек Витков-2 Рожна Олши Славковское рудное поле Задни-Ходов	260 160 180 250–270 190 280 260–270 137–188

прослеживается горизонт медистых сланцев небольшой мощности и базальных конгломератов. Цехштейновые отложения – вмещающие для стратиформных урановых месторождений (Кульмич, Зорге). Верхнепермские породы распространены в обрамлении Франконского и Тюрингского бассейнов, в Субгерцинской и Мюгельнской мульдах, в Северо-Западной Саксонии и севернее Доберлугской мульды. Они перекрываются триасовыми континентальными (бунтзандштайн), галогенно-карбонатными юрскими отложениями (мушелькальк) и лагунными галогенно-терригенными осадками (койпер). Триасовые отложения широко распространены во Франконском, Тюрингском бассейнах, в Субгерцинской мульде и Флехтингене, а также в Мюгельнской мульде и севернее Лаузица в виде пестроцветных песчаников, мергелей, глин, известняков, доломитов, ангидритов, каменной и калийной солей, бурых углей.

Юрские отложения представляют песчаники, глины, незначительно распространенные в районе Субгерцинской мульды.

Меловые отложения: песчаники, мергели, глины – отмечаются в Эльбтальском прогибе, севернее района Гёрлицких гор и в Субгерцинской мульде. Позднемеловые осадочные отложения характеризуются различной фациальной принадлежностью (морские, лагунные, континентальные). К ним приурочены урановые образования гидрогенного типа (Кёнигштайн). Близкий литологический состав имеют кайнозойские осадки.

Таким образом, в разрезе осадочных пород Саксо-Тюрингии рудоносными являются углеродистые силурийские отложения и прорывающие их диабазы, а также слюдисто-глинистые сланцы верхнего ордовика и частично пелитоморфные известняки нижнего девона, составляющие совместно продуктивную пачку. Представитель гидрогенного типа – месторождение Кёнигштайн приурочено к нижнему сеноманскому ярусу меловой толщи в южном борту Эльбтальского грабена (табл. 1).

2.2. Магматизм

На рассматриваемой территории широко проявлены магматические образования различного возраста, петрографического и петрохимического состава, а также фациальной принадлежности. По существующим представлениям магматические комплексы региона сформировались в байкальскую (ассинтскую), каледонскую, варисцийскую (варисскую) и альпийскую эпохи тектогенеза.

Наиболее ранний – протерозойский интрузивный комплекс гранитоидов, распространенный в районе Лаузица (рис. 3). Комплекс представлен восточнолаузицкими (зайденбергскими) биотитовыми, роговообманковыми гранодиоритами, румбургскими (хиршвельдскими) крупнозернистыми биотитовыми гранитами и гнейсами (ортогнейсами) гранодиоритового состава. Последние выходят на дневную поверхность в районе Гроссенхайна. Румбургские граниты сформировались позднее восточнолаузицких гранодиоритов.

Протерозойско-кембрийский интрузивный комплекс состоит из ультраосновных и кислых пород, претерпевших высокую степень метаморфизма. К ранним по возрасту интрузиям относятся перидотиты (серпентиниты), эклогиты, имеющие весьма незначительное распространение в Рудных и Гранулитовых горах. Широким развитием в Рудных горах пользуются гранито-гнейсы (ортогнейсы), которые образовались за счет калиевых гранитов или иных кислых пород, сформировавшихся на ранних стадиях байкальского тектогенеза. Среди гранито-гнейсов по петрографическому составу и текстурно-структурным признакам выделяются: ортогнейсы мусковит-биотитовые, волокнистые, красные очково-волокнистые мусковит-биотитовые, ортогнейсы мусковитовые, очковые двуслюдяные, мигматиты.

Каледонский магматический комплекс представлен западнолаузицкими гранодиоритами и биотитовыми гранитами, а также гранодиоритами районов Лейпцига и Айленбурга-Шильдау (Северо-Западная Саксония). Западнолаузицкие гранодиориты петрографически подразделяются на мусковит-биотитовые и биотитовые, имеющие значительные площадные выходы на дневной поверхности в районе Лаузица.

Варисский магматический комплекс (D_3-C_1) охватывает как основные, так и кислые по составу эффузивные и интрузивные образования Тюрингского Леса, Фогтланда, Рудных и Гранулитовых гор, Северо-Западной Саксонии, Майсена, Гёрлицких гор и района Гарца. По возрасту различают доскладчатые, раннескладчатые, позднескладчатые и послескладчатые магматические комплексы пород.

Доскладчатый комплекс представлен в основном эффузивной и субвулканической фациями пород основного состава. Последние сложены диабазами и их туфами (D_{1-2} , $D_{1-2}-D_3$, D_3), спилитами и кератофирами (D_2), габбродиабазами, диабазами (D_3), которые в форме пластообразных залежей распространены среди осадочных отложений девона.

Раннескладчатый плутонический комплекс пород нижнего карбона (C_1) охватывает интрузии гранитоидного состава. К это-

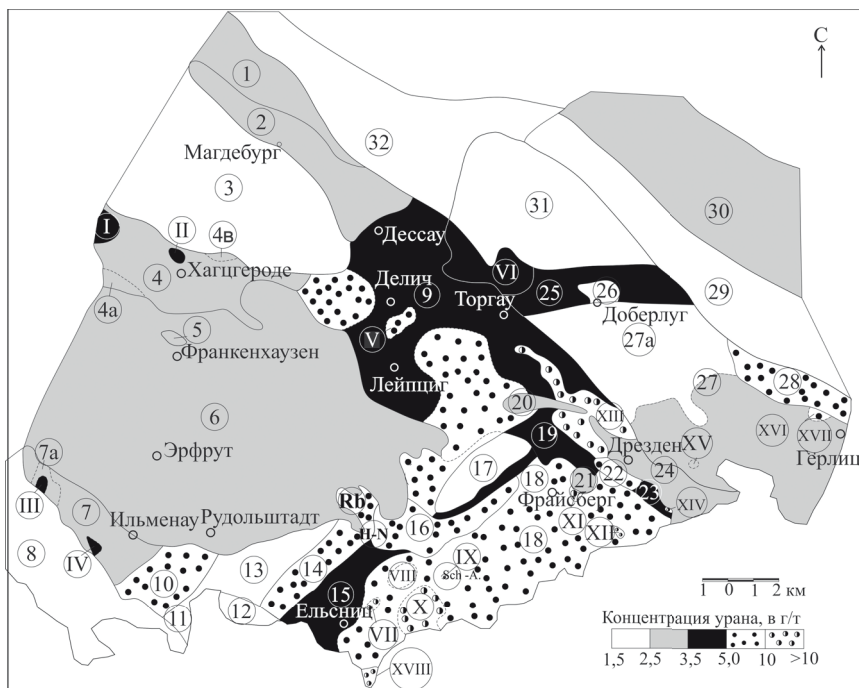


Рис. 3. Схема ураноносности важнейших геологических структур и массивов гранитоидов в пределах Саксо-Тюрингской металлогенической области [Кушнеренко, 1982]

Геологические структуры: 1 – мульда Кальвёрде; 2 – поднятие Флехтинген-Росслау; 3 – субгерцинская мульда; 4 – выступ Гарц; 4а – Ильфельдский бассейн; 4в – Майсдорфский бассейн; 5 – выступ Киффхойзер; 6 – Тюрингская мульда; 7 – выступ Тюрингский Лес; 7а – Рульское поднятие; 8 – Франконская мульда; 9 – Северо-Саксонская вулканогенная область; 10 – Шварцбургское поднятие; 11 – Штокгеймский бассейн; 12 – Франкенвальдская поперечная зона; 13 – Цигенрюкская мульда; 14 – Восточно-Тюрингское поднятие (Бергасская антиклиналь); 15 – Фогтландская синклираль; 16 – Рудногорский бассейн; 17 – Гранулитовогорский массив; 18 – Пихтовогорско-Рудногорский антиклинорий; 19 – Носсен-Вильсдруфские сланцевые горы; 20 – Мюгельнская мульда; 21 – Тарандов лес; 22 – Дёленский бассейн; 23 – Эльбталские сланцевые горы; 24 – Эльбталский грабен; 25 – Доберлукская синклиральная зона; 26 – Доберлукская мульда; 27 – Лаузицкий массив; 27а – Радебург-Каменецкие граувакковые горы; 28 – Гёрлицкие сланцевые горы; 29 – Нижнелаузицкая ступень; 30 – Миттенвальдская ступень; 31 – Бухгольцкая ступень; 32 – Южноальтмаркская ступень. **Гранитные массивы:** I – Броккен, II – Рамберг, III – Рула, IV – Зуль, V – Делич, VI – Претч-Преттин, VII – Берген, VIII – Кирхберг, IX – Айбеншток, X – Ауэ, XI – Нидербобрин, XII – Шеллерхау, XIII – Майсен, XIV – Маркерсбах, XV – Штольпен, XVI – Лаузиц, XVII – Кёнигштайн, XVIII – Брамбах. **Урановорудные поля:** Rb – Роннебургское; Sch-A – Шлема-Альберода; Н-Н – Хауптманнсгрюн-Ноймарк

му комплексу относятся интрузии гранодиоритов Зуль-Ильмталь, Делина, Лааса, Майсена, Претч-Преттина, граниты Гранулитовых гор, интрузии Рула, Бротерода, Шлейзенталь, сиенит-диориты Масейна и, возможно, интрузия габбро Восточного Броккена. Массивы гранитов этого комплекса приурочены к древним поднятиям – Гранулитовогогорскому и Среднегерманскому валу.

Позднескладчатый плутонический комплекс (C_{1-2}) представлен интрузиями горских гранитов: Кирхберга, Бергена, Фихтельгебирге, Ауэ-Шварценберг-Лаутера, а также гранитами Фляй, Нидербобринна, Ризенштайна, Броккена, Рамберга. Для гранитоидов горского комплекса установлена повышенная основность, бедность летучими компонентами; пегматитовые образования редки, процессы автотоматоза проявлены слабо. Выходы перечисленных массивов наблюдаются в Рудных горах, Фогтланде и Гарце.

Послескладчатый вулканоплутонический комплекс (C_2-P_1) состоит в основном из кислых образований интрузивной, субвулканической и эффузивной фаций. К этому комплексу относятся граниты рудногорского типа: Айбеншток, Гайер-Эренфридерсдорф, Аннаберг, Шеллерхау, Маркерсбах, Альтенберг, пользующиеся широким распространением в Рудных горах. Особенность рудногорских гранитов – повышенное содержание кремнезема; по химическому составу они соответствуют гранитам, пересыщенным глиноземом и обогащенным летучими компонентами, с широким проявлением процессов грейзенизации, развитием пегматитов и геохимической специализацией на олово и фтор. В районах Гёрлиц и Лаузиц отмечаются выходы гранитных массивов Кёнигштайн и Штольпен, одновозрастные с рудногорскими, но отличные от них по ряду петрохимических признаков. Интрузивные тела граносиенитов и граносиенит-порфиоров (C_2-P_1) известны в Северо-Западной Саксонии и Тюрингском Лесу.

Совместная ассоциация пород субвулканической и эффузивной фаций широко распространена в Восточных Рудных горах, в Северо-Западной Саксонии, в Тюрингском Лесу и в меньшей степени в районе Флехтингена. Субвулканические тела представлены гранит-порфирами, кварцевыми порфирами (C_2-P_1). К эффузивной фации относятся лавы и пирокластиты андезитового, риолитового и трахириолитового состава (C_2-P_1, P_1).

В альпийскую эпоху тектогенеза в регионе проявился базальтоидный магматизм. Базальты и фонолиты палеоген-неогенового возраста контролируются разломами северо-восточного и северо-западного направлений. Выходы базальтоидов отмечаются в районе Лаузица (Циттау), Рудных гор и Франконского бассейна.

2.3. Тектоника

В варисском поясе Западной Европы выделены три крупные тектонические зоны северо-восточного направления: Молда-нубская, Саксо-Тюрингская и Рено-Герцинская [Хаин, 1977]. На изучаемой территории прослеживаются только Саксо-Тюрингская и Рено-Герцинская, различающиеся характером разреза докембрийских и палеозойских образований, особенностями их дислокации, степенью метаморфизма и металлогенией.

В Саксо-Тюрингской зоне проявились три крупных геотектонических цикла – протерозойско-кембрийский, палеозойский и мезозойский. В протерозое–кембрии и палеозое геотектонический режим соответствовал условиям развития геосинклинали, в мезозое – кайнозое – платформенным условиям. Геологическое развитие Саксо-Тюрингии в палеозое характеризовалось условиями общего геосинклинального прогибания ($O-C_1$), завершившимся инверсией и главной судетской фазой тектогенеза (варисские складчатые структуры), а также процессом воздымания с консолидацией складчатых и формированием блоково-глыбовых структур (C_2-P_1). Указанные стадии имеют существенные различия.

Для первой из них, собственно геосинклинальной, характерно наличие синседиментационных тектонических элементов, которые определили морфологию и северо-восточную ориентировку основных складчатых структур, сформировавшихся в судетскую фазу тектогенеза. В этот период получили развитие продольные сбросы и конформные надвиги, наметились северо-западные разломы. Характерно ограниченное развитие соскладчатых гранитоидов и незначительная роль интрузий основного и ультраосновного состава.

Во вторую стадию (орогенный этап) роль складчатых деформаций оказалась незначительной, сформировались преимущественно разломы северо-западного направления и подновленные, ранее образованные северо-восточные тектонические нарушения. Для этого времени характерно формирование локальных прогибов с накоплением молассовых отложений (C_2-P_1 , P_1), проявление кислого эффузивного магматизма, а на локальных поднятиях – внедрение интрузий гранитоидного состава (Северо-Западная Саксония, Тюрингский Лес, Рудногорская мульда).

В платформенный период развития (P_2-T_1) в западной части территории (Тюрингская, Франконская, Субгерцинская мульды, Эльбтальская зона) происходит опускание и связанное с ним накопление галогенных, хемогенных и кластических отложений. В восточной части региона (Рудные и Гранулитовые

горы) часть территории остается поднятой и является областью денудации.

Рено-Герцинская зона (включая район Гарца) имеет сложное тектоническое строение. В Гарце формирование палеозойских отложений происходило в условиях эвгеосинклинального прогиба. Герцинский чехол представлен мощными девонско-каменноугольными терригенными образованиями, несогласно залегающими на отложениях кембрия – силура.

Отложения чехла прослежены в северо-восточном направлении. Разрывные нарушения имеют преимущественно северо-западную ориентировку.

В строении южной части территории выделяются три структурных этажа:

– нижний геосинклинальный (протерозойский) – мощную (более 10 км) толщу гнейсов, кристаллических и слюдяных сланцев, граувакк и глинистых сланцев ($PR-PR_1^2-E$); в свою очередь нижний этаж – два структурных яруса – нижний (PR), плагиогнейсы и гранулиты, и верхний (PR_1^2-E) – гнейсы, сланцы, граувакки;

– средний геосинклинальный (палеозойский) – породы кембрия – нижней перми; подразделяется на каледонский и варисский подэтажи, первый охватывает песчано-глинистые отложения (PZ_1, E, O_1, O_{2-3}) с различной степенью метаморфизма в различных геологических структурах; второй включает три структурных яруса: нижний ($S-D_{1-2}$) – углеродисто-глинистые и карбонатные отложения с фосфоритами и сульфидами железа; средний (D_3-C_1) – терригенные и вулканогенные толщи; верхний (C_2-P_1) – осадочные сероцветные и красноцветные отложения, вулканогенные образования кислого состава и интрузии гранитоидов;

– верхний платформенный этаж (P_2-K_2) – два структурных яруса: нижний (P_2-J_1) объединяет преимущественно хемогенные и терригенно-галогенные отложения, включая медистые сланцы; верхний (K_{1-2}) сложен главным образом осадочными терригенными отложениями.

Участок пересечений продуктивного горизонта пород (в том числе ураноносных черных сланцев силура) Нойдек-Крими-чаусской тектонической зоной северо-западного простирания и разрывными нарушениями Росслау-Цайц-Герской (Лейпциг-Фохтляндской) зоны субмеридионального направления определяет положение Роннебургского рудного поля, расположенного в Саксо-Тюрингской синклинали и приуроченного к Восточно-Тюрингскому орогенному поднятию [Малышев, Савельева, 1985].

В структурном отношении месторождения урана приурочены к сложному и длительно формирующемуся тектоническому узлу. В его пределах палеозойские образования смяты в линейные и брахиформные складки преимущественно северо-восточного простирания, осложненные гравитационными межформационными и межпластовыми срывами и нарушениями различной ориентировки. Форма складок рудовмещающих пород унаследует рельеф кровли ордовика. Узкие и глубокие синклинальные прогибы отражают также зоны крупных разломов, а складки сундучной формы представляют собой горсты и грабен-синклинали. На месторождениях проявлены две системы зон разломов (рис. 4): ортогональная (близширотная и меридиональная) и диагональная (северо-восточная, совпадающая с Восточно-Тюрингским орогенным поднятием, и северо-западная, отвечающая простиранию Нойдек-Кримичаусской зоны).

Зоны близмеридионального простирания выражены многометровыми (250–300 м) уступами в кровле ордовика и углублениями (провалами), выполненными многократно повторяющимися в разрезе ураноносными углеродистыми сланцами силура, общая мощность которых в несколько раз превышает их первоначальную (нормальную) стратиграфическую мощность.

Нарушения северо-восточной ориентировки, более отчетливо проявленные в Лихтенберг-Штольценбергской зоне (центральная часть рудного поля), в сочетании с разрывами других направлений обусловили формирование множества рудовмещающих узлов и других благоприятных для локализации оруденения геологических неоднородностей.

Разломы северо-западного простирания (Кримичаусский, Поленские и др.) представляют собой фрагменты Нойдек-Кримичаусской региональной тектонической зоны.

Происходившие в позднекаменноугольное–раннепермское время тектонические движения по многочисленным разломам предопределили приуроченность к ним поздневарисского тонковкрапленного браннерит-коффинитового оруденения. Пермские — триасовые движения обусловили образование в центральной блоке куполовидных антиклиналей и глубоких синклиналей. Возобновившиеся в платформенный этап развития тектонические подвижки привели к образованию Герского выступа.

Особое место среди нарушений занимают пологие разрывы с углами падения от 0 до 15–20°, местами до 50°. К ним относятся гравитационные сбросы (оползни) и соскладчатые надвиги, создающие благоприятные предпосылки для рудообразования

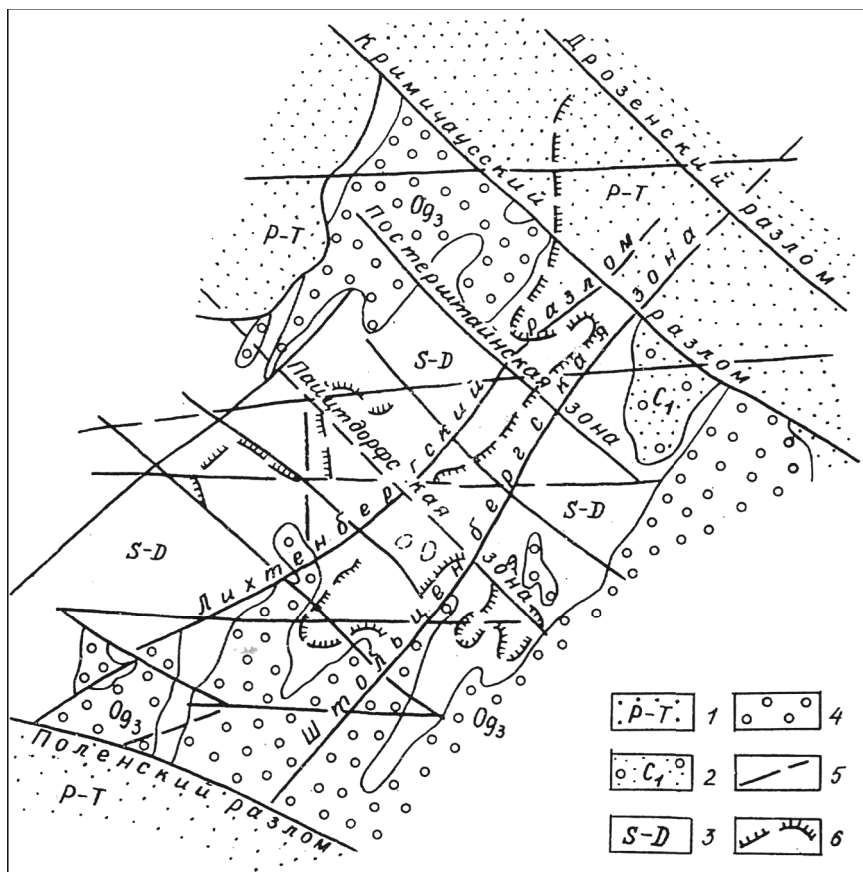


Рис. 4. Структурно-тектоническая схема Роннебургского рудного поля
[Малышев, Савельева, 1985]

1 – пермо-триас, 2 – нижний карбон (кульм), 3 – силур – девон, 4 – ордовик, 5 – зоны тектонических нарушений и разломы, 6 – надвиги

вследствие неоднократного повторения в разрезе ураноносных пород черносланцевой толщи силура.

Подавляющая часть урановорудных тел приурочена к породам, непосредственно контактирующим или приведенным в тесное соприкосновение с ураноносной толщей силура, меньшая часть расположена в самих сланцах, но по мере удаления от них рудоносность быстро падает. Пространственная близость уранового оруденения и черносланцевой толщи силура может указывать на ресурсную роль черных сланцев как поставщика урана, а значительная удаленность (до 500 м) сви-

детельствует о возможном дополнительном гидротермальном поступлении урана. В структурном отношении отчетливо наблюдается зависимость масштаба оруденения от сложности складчатого строения и степени тектонической проработанности отдельных блоков.

Наиболее интенсивные складчатые деформации происходили в период ассинтской (допалеозойской) и судетской (доверхнекарбоновой) фаз складчатости. Большая часть разломов заложена в доварисское время. Неоднократно, тектонически обновляясь в варисское и более позднее время, они оказывали влияние на формирование гранитов, вмещали дайковые пояса, а также контролировали разновозрастные гидротермальные, в том числе урановородные образования [Величкин, 1971]. Характер и интенсивность проявления разнородных и разнонаправленных тектонических деформаций при прочих равных условиях предопределили развитие рудоподготовительных и рудогенерирующих процессов [Малышев, Савельева, 1985].

В палеогеодинамическом отношении, по данным Н. П. Лаврова и др. [2012], Восточно-Европейский кратон, в состав которого входит и рассматриваемая территория, находящийся в северо-западной части Евразии, в раннем-среднем палеозое был отделен от располагавшейся южнее Африканской древней платформы обширным морским бассейном. В этом бассейне находился ряд крупных микроконтинентов: Молданубский, Баррандиенский, Рудногорский, Шварцвальдский, Центральнофранцузский и Армориканский. Между ними в морских условиях последовательно накапливались кембро-ордовикские, силур-девонские, раннекарбоновые отложения.

В раннем карбоне начался процесс сближения указанных выше древних геоблоков, сопровождавшийся смятием в складки находившихся между ними морских отложений, который завершился в поздней перми интенсивной тектономагматической активизацией, проявившейся в основном в пределах микроконтинентов. Формирование уранового оруденения в перми происходило на территории Среднеевропейских герцинид. В Богемском массиве и в его северо-западном обрамлении возник вулканоплутонический пояс, в пределах которого чрезвычайно широкое и мощное проявление получил многофазный гранитный магматизм, происходивший в обстановке растяжения. Его формирование завершилось возникновением разнообразного, в том числе уранового, оруденения жильного типа.

2.4. Петрохимия магматических пород

Химический состав горной породы — один из главных критериев её принадлежности к классификационной группе. Вместе с тем петрогенные элементы, особенно кремний и щелочные металлы, играют существенную роль в распределении урана и тория в изверженных породах.

Анализ химического состава интрузивных пород (табл. 2) показывает, что протерозойские восточнолаузицкие гранодиориты и румбургские граниты отвечают породам, пересыщенным кремнеземом и глиноземом, с относительно равными соотношениями калия и натрия, при этом румбургские граниты богаты щелочами, а гранодиориты — относятся к умеренно богатым разновидностям. При сравнении химических составов гранитов и гранодиоритов со средними типами по Р. Дели первые соответствуют щелочным, вторые — щелочноземельным гранитам. Примечательно, что румбургские граниты по петрохимическим данным сопоставимы с варисскими гранитами (Штольпен, Маркерсбах) позднекаменноугольного—раннепермского возраста.

Каледонские (западнолаузицкие) мусковит-биотитовые гранодиориты и биотитовые гранодиориты отвечают породам, богатым глиноземом, пересыщенным кремнеземом. Мусковит-биотитовые гранодиориты умеренно богаты щелочами, а биотитовые гранодиориты бедны щелочами, но богаче магнезией. При сравнении состава гранодиоритов со средними типами по Р. Дели отмечается, что биотитовые гранодиориты отвечают гранодиоритам, а мусковит-биотитовые — соответствуют щелочноземельным гранитам и очень близки по химическому составу к восточнолаузицким гранодиоритам. Для западнолаузицких гранодиоритов характерно преобладание натрия над калием.

Варисский магматический комплекс, представленный различными по возрасту гранодиоритами, характеризуется как чертами сходства, так и различия между однотипными по составу породами. Общей петрохимической особенностью большинства варисских гранодиоритов и гранитов является обогащенность их глиноземом и щелочными алюмокислотами при равных соотношениях натрия и калия в силикатных минералах. В гранит-порфирах и граносиенитах субвулканической фации отмечается преобладание калия над натрием. Большинство интрузивных образований гранитоидного состава варисского магматического комплекса отвечают породам, пересыщенным кремнеземом, но существенно различаются по содержанию щелочей.

Раннескладчатые интрузии позднекаменноугольного возраста (Броккен, Майсен, Лаас, Зуль, Бротерода, Гранулитовые

Химический состав магматических

Породы и районы	Среднее					
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	
Гранодиориты, Вост. Лаузиц	68,52	0,38	14,10	1,80	2,83	
Граниты, Рамберг	75,00	0,14	13,05	0,55	1,08	
Гранодиориты муск.-биотитовые, Зап. Лаузиц	70,50	0,42	14,97	0,63	2,37	
Гранодиориты биотитовые, Зап. Лаузиц	65,42	0,80	15,63	1,08	3,97	
Габбродиориты, Броккен	53,14	1,05	16,57	2,11	7,39	
Сиенито-диориты, Майсен	56,09	0,87	17,41	3,90	2,97	
Гранодиориты						
Майсен	69,73	0,33	15,27	0,67	1,17	
Лаас	65,57	0,88	15,72	1,74	3,17	
Зуль	62,22	1,01	15,47	2,87	1,85	
Гранит-аплиты, Шлейзенталь	75,39	0,25	11,99	1,07	0,30	
Диориты, Бротероде	51,89	1,09	17,15	2,42	6,57	
Граниты, Рула	66,05	0,44	15,50	0,92	4,10	
Граниты						
Гранулитовые горы	72,80	0,30	14,20	0,20	1,60	
Рамберг	75,35	0,36	13,45	0,52	1,00	
Броккен	73,77	0,19	13,40	1,29	1,44	
Ризенштайн	74,30	0,18	13,39	0,78	0,74	
Нидербобрич	70,40	0,31	13,38	1,25	2,93	
Фляй	72,35	0,38	14,00	0,30	1,75	
Ауэ-Шварценберг-Лаутер	70,87	0,26	14,51	0,39	2,89	
Фихтельгебирге	72,07	0,16	14,81	0,71	1,39	
Берген	73,30	0,19	14,25	0,30	1,83	
Кирхберг	73,26	0,41	12,67	0,35	2,40	
Штольпен	76,30	0,03	12,46	0,98	0,84	
Кёнигштайн	75,50	0,12	12,83	0,80	0,58	
Хеннеберг	73,40	0,23	14,06	0,60	0,34	
Альтенберг	73,35	0,03	13,60	0,45	1,98	
Маркерсбах	74,13	0,04	12,47	1,22	2,09	
Шеллерхау	73,65	0,10	12,89	0,94	2,24	
Аннаберг	73,69	0,02	14,65	0,25	0,90	
Эренфридерсдорф	71,98	0,16	13,84	0,49	2,66	
Айбеншток	73,03	0,11	14,29	0,72	1,75	
Гранит-порфиры, Гриммские	72,20	0,20	12,82	1,73	1,00	
Граносиениты, Бурцен	67,11	0,63	15,28	0,51	2,07	

пород Саксо-Тюрингской области

содержание, вес. %

	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	п.п.п.	Σ
	0,03	10,47	1,71	3,38	3,90	0,25	1,53	—	99,90
	0,00	0,35	0,81	3,67	4,20	0,29	0,84	—	99,98
	0,08	1,19	2,00	3,39	3,45	0,07	1,12	—	100,20
	0,07	1,68	3,00	3,68	3,40	0,11	1,16	—	100,00
	—	6,11	8,92	2,94	1,07	0,70	—	—	100,00
	0,25	3,11	6,03	4,23	3,95	0,43	0,80	—	100,04
	0,04	0,70	1,80	4,07	4,27	0,22	0,87	—	99,14
	0,01	1,98	2,53	3,76	3,37	0,18	1,20	—	100,00
	0,09	2,27	4,69	3,23	3,11	0,13	0,57	2,49	100,00
	0,00	0,04	0,37	2,70	5,64	0,00	0,41	2,26	99,29
	0,14	5,64	6,31	2,46	3,60	1,00	1,98	—	100,40
	0,07	1,72	1,48	3,38	4,73	0,29	1,20	—	99,90
	0,03	0,30	1,10	3,50	4,90	0,14	0,80	—	99,87
	0,34	0,18	0,83	2,95	4,63	0,20	0,19	—	100,00
	0,01	0,22	0,96	2,82	5,54	0,06	0,30	—	100,00
	0,02	0,23	1,28	3,70	4,57	0,11	0,70	—	100,00
	0,20	1,32	1,42	3,42	4,49	0,20	0,70	—	100,00
	0,40	1,00	1,40	3,30	4,00	0,22	0,90	—	100,00
	0,08	0,48	1,12	3,39	4,50	0,30	0,80	—	99,59
	0,02	0,44	0,68	3,78	4,70	0,16	0,80	—	99,72
	0,05	0,37	0,71	3,69	4,20	0,15	—	0,88	99,92
	0,06	0,50	0,97	3,56	4,43	0,21	0,51	0,22	99,55
	0,08	0,10	0,58	2,94	5,02	0,01	0,66	—	100,00
	—	0,70	0,74	3,95	4,70	0,01	0,60	—	100,00
	0,04	0,46	0,83	4,16	4,76	0,18	0,94	—	100,00
	0,10	0,13	0,50	3,70	4,40	0,03	0,78	0,85	99,90
	0,03	0,14	0,88	3,49	4,88	0,10	0,53	—	100,00
	0,04	0,56	0,74	3,44	4,41	0,15	0,84	—	100,00
	0,04	0,30	0,60	4,25	3,95	0,32	0,98	—	99,95
	0,05	0,26	0,59	3,82	4,30	0,44	0,83	—	99,42
	0,03	0,39	0,70	3,43	4,27	0,38	0,53	—	99,63
	0,02	0,45	0,53	1,40	6,05	0,04	1,23	2,33	100,00
	0,05	1,12	0,86	3,77	5,67	0,18	0,60	1,90	99,75

горы) характеризуются как гибридным, так и гранитоидным составом. Гранодиориты Зуля, относящиеся к ряду нормальных пород и соответствующие гранодиоритам по Р. Дели, весьма бедны щелочами, а гранодиориты Майсена и Лааса – умеренно богаты щелочами и по химизму соответствуют щелочноземельным гранитам по Р. Дели. Майсенские сиенито-диориты соответствуют насыщенным кремнеземом породам и умеренно богаты щелочами и по химизму близки к монцонитам по Р. Дели. Раннекаменноугольные (раннескладчатые) граниты Рула умеренно богаты щелочами, которые соответствуют щелочным гранитам по Р. Дели.

Позднекладчатые интрузии ранне-позднекаменноугольного возраста (горские граниты, гранитные массивы Фляй, Нидербобрич, Ризенштайн, Броккен, Рамберг) характеризуются преимущественно кислым составом пород. По химизму они соответствуют пересыщенным кремнеземом породам и относятся к группе, богатой щелочами. Химический состав указанных гранитов соответствует составу щелочного гранита по Р. Дели. В них равное соотношение калия и натрия и имеет место присутствие калиевых полевых шпатов в гранитах, причем щелочные полевые шпаты преобладают над кальциевыми. В гранитах Рамберга и Броккена отмечается редкое преобладание железа над магнием, чем они отличаются от гранитов Рудных гор.

Послескладчатые интрузивные образования позднекаменноугольно–раннепермского возраста, представленные рудногорскими гранитами и гранитными массивами Хеннеберг, Кёнигштайн, Штольпен и субвулканическими телами граносиенитов и гранит-порфиоров, характеризуются преимущественно кислым составом. Эти граниты по петрохимическому типу соответствуют пересыщенным кремнеземом и богатым щелочами породам и тем самым сопоставимы с петрохимическим составом гранитов ранне-позднекаменноугольного возраста. Однако позднекаменноугольно–раннепермские граниты отличаются от последних преобладанием в них калиевых полевых шпатов. Позднекаменноугольно–раннепермские граниты соответствуют щелочным гранитам по Р. Дели.

Приведенный перечень горных пород Саксо-Тюрингии ниже рассматривается с позиций их радиогеохимических особенностей.

Глава 3. РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САКСО-ТЮРИНГИИ

Для установления закономерностей распределения радиоактивных элементов в горных породах Саксо-Тюрингии были использованы результаты около 50 000 гамма-спектрометрических и рентгеноспектральных определений урана и тория в геохимических пробах, отобранных в разное время, в том числе и одним из авторов, за период деятельности СГАО «Висмут». В результате были оценены радиогеохимические особенности осадочных, метаморфических и магматических пород Саксо-Тюрингии и выполнено радиогеохимическое районирование (рис. 3).

В основу радиогеохимического анализа положен принцип тесной взаимосвязи и взаимообусловленности формирования геохимического фона урана и тория земной коры и процессов рудообразования как частный случай проявления направленной миграции рудных элементов. В благоприятных условиях среды это явление приводит к существенной концентрации последних, включая образование промышленных месторождений. Формирование геохимического фона горных пород и рудных концентраций урана и тория в истории геологического развития различных структур земной коры обусловлено проявлением двух групп процессов – сингенетических (осадконакопление и магматизм) и эпигенетических (региональный контактовый, гидротермальный метаморфизм и широкая гамма эпигенетических процессов, связанных с деятельностью поверхностных и подземных вод). Для сингенетических процессов характерно формирование первично-конституционального, преимущественно равномерно рассеянного распределения радиоактивных элементов. Общая особенность геохимии сингенетических процессов – относительно невысокая степень концентрации рудных элементов, но значительные масштабы перемещения урана и тория. Эпигенетические эндогенные и экзогенные процессы

Уран и торий в главнейших типах осадочных, метаморфических

Породы	Среднее по району		
	U	Th	Th/U
Терригенные (песчано-глинистые)			
Конгломераты	3,8	10,2	2,7
Гравелиты	3,5	14,3	4,1
Песчаники	3,0	8,7	2,9
Граувакки	2,5	11,0	4,4
Алевролиты	2,6	14,8	5,7
Аргиллиты	3,5	12,7	3,6
Глинистые сланцы	3,2	14,3	4,5
Глины	4,3	13,8	3,2
Углеродисто-глинистые и углероди- сто-кремнистые сланцы	16,7	6,4	0,4
Углистые песчаники	4,0	8,4	2,1
Медистые сланцы	13,5	6,7	0,5
Кремнистые			
Кремнистые сланцы	3,8	6,6	1,7
Кварциты	2,9	11,0	3,8
Карбонатные			
Известняки	2,4	3,1	1,3
Мергели	2,7	8,5	3,1
Доломиты	1,4	3,6	2,6
Соленосные			
Гипс, ангидрит	2,6	2,9	1,1
Каустобиолиты			
Углистые сланцы, угли	7,1	3,8	1,2
Граниты			
C ₂ -P ₁	9,0	25,3	2,8
C ₁₋₂	8,9	20,6	2,3
C ₁	8,1	33,5	4,1
Гранодиориты PR-O	2,9	10,7	3,7
Гранито-гнейсы PR-E (ортогнейсы)	5,0	11,2	2,2
Вулканогенные породы P₁	5,6	22,5	4,0
Вулканогенные породы C₂-P₁	5,6	23,5	4,2

Таблица 3

и магматических пород Саксо-Тюрингии, г/т

	Платформенный этаж K ₂ -P ₂			Геосинклинальный этаж					
				Є-P ₁			PR		
	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U
	3,1	8,4	2,7	3,8	11,5	3,0	6,0	11,2	1,8
	3,5	14,4	4,1	6,3					
	2,1	6,7	3,2	4,2	13,0	3,1			
	2,1	2,9	1,4	2,6	13,7	5,3	2,9	12,2	4,2
	3,1	12,7	4,1	2,5	16,2	6,5			
	3,3	12,5	3,8	3,9	13,0	3,3			
	4,7	11,8	2,5	3,1	14,7	4,8	1,9	5,0	2,6
	3,9	12,9	3,3	4,6	14,4	3,1			
	–	–	–	16,7	6,4	0,4			
	4,0	8,4	2,1						
	13,5	6,8	0,5						
	–	–	–	4,3	6,1	1,4	1,9	8,2	4,3
	–	–	–	3,8	11,6	3,9	1,0	2,4	2,4
	2,2	2,6	1,2	3,0	5,1	1,7	1,0	2,9	2,9
	2,5	8,3	3,3	4,3	11,4	2,7			
	2,3	4,4	1,9	0,7	1,5	2,1			
	2,6	2,9	1,1	7,1	8,8	1,2			
	6,2	7,4	1,2						

**Уран и торий в осадочных и осадочно-метаморфических породах
Саксо-Тюрингии**

Структурные этажи и ярусы	U, г/г (среднее)	Th, г/г (среднее)	Th/U
В целом по Саксо-Тюрингии	4,4	11,3	2,1
В том числе:			
Верхний структурный платформенный этаж (P₂-K₂) в целом	2,6	6,9	2,6
Без медистых сланцев	2,5	6,9	2,8
1. Верхний структурный ярус (K ₂ -K ₁) в целом	2,3	8,3	3,5
В том числе: K ₂	2,4	8,4	3,5
K ₁	1,7	4,7	2,8
2. Нижний структурный ярус (P ₂ -J) в целом	2,7	6,5	2,4
Без медистых сланцев	2,5	6,4	2,6
В том числе: J ₃	1,7	6,7	3,9
J ₂	1,6	8,9	5,5
J ₁	2,2	13,2	6,0
T ₃	2,7	8,3	3,1
T ₂	2,2	2,4	1,1
T ₁	2,6	8,0	3,1
P ₂	3,4	6,9	2,0
P ₂ без медистых сланцев	2,8	6,9	2,5
Средний геосинклинальный структурный этаж – каледоно-варисский (Є-P₁) в целом	5,1	12,9	2,5
Без вулканогенных пород P ₁ и C ₂ -P ₁ , а также S	3,6	13,4	3,7
В том числе варисский подэтаж (S-P ₁) в целом	5,4	16,1	3,0
Без вулканогенных пород P ₁ и C ₂ -P ₁ , а также S	3,7	12,5	3,4
1. Верхний структурный ярус (C ₂ -P ₁) в целом	5,0	19,8	4,0
В том числе: только вулканогенные	5,6	23,1	4,1
только осадочные	4,2	13,5	3,2
В том числе: P ₁	4,2	13,5	3,2
C ₂ -P ₁	3,6	13,1	3,6
C ₂	4,4	13,7	3,1
2. Средний структурный подэтаж (D ₂ -C ₁) в це- лом	3,6	11,6	3,2
В том числе: C ₁	3,9	13,8	3,5
D ₃ -C ₁	8,5	10,0	1,2
D ₁₋₂ -D ₃	3,5	9,5	2,7

Структурные этажи и ярусы	U, г/т (среднее)	Th, г/т (среднее)	Th/U
D ₃	2,7	9,0	3,3
D ₂₋₃	1,5	7,8	5,2
D ₂	2,8	10,6	3,8
3. Нижний структурный подэтаж (S-D ₁₋₂) в целом (без отложений S)	2,5	12,1	4,8
В том числе: D ₁₋₂	2,3	13,0	5,7
D ₁	2,3	14,9	5,5
D	2,4	10,1	4,2
S-D	3,3	13,4	3,9
O ₃ -S - D	2,8	9,7	3,5
S ₂	21,5	7,8	0,4
S ₁	17,5	4,0	0,2
S	11,9	7,4	0,6
Каледонский подэтаж (Є-O) в целом	3,6	15,5	4,3
В том числе: O ₃	2,3	11,3	4,9
O ₁₋₃	3,4	16,4	4,8
O ₁	3,7	17,2	4,6
Є	3,6	11,8	3,3
Є ₂	3,3	13,4	4,1
Є ₁	6,1	6,5	1,1
Нижний структурный геосинклинальный этаж (протерозойский – PR)	3,8	10,9	2,9
Верхний ярус	3,9	11,1	2,9
в том числе: PR ₁ -Є	3,2	11,5	3,6
PR	2,4	9,6	4,0
PR ₂	2,7	9,5	3,5
Нижний ярус	2,1	8,0	3,8
в том числе: PR ₁	4,6	10,2	2,2

по их относительной роли в рассеянии и концентрации урана и тория могут быть условно разделены на две группы: подготовительные и рудоформирующие. К первой следует отнести региональный и контактовый термальный метаморфизм, ультраметаморфизм и др. Эти процессы приводят к изменению формы нахождения урана и тория в породах, их частичному перераспределению с относительно невысокой степенью концентрации. Подготовительные и сингенетические процессы играют решающую роль в создании благоприятных геохимических условий для развития эпигенетических рудоформирующих процессов гидротермального метаморфизма и инфильтрационной деятельности, с которыми связана наиболее высокая степень концентрации урана и тория.

Обычно при сравнении результатов радиогеохимических исследований большинство специалистов пользуются значениями средних содержаний урана и тория в отдельных группах пород (их кларков), которые приведены в работах А. П. Виноградова [1962], К. К. Турекиана и К. Х. Ведеполя [1961] и др. Однако возможности использования приводимых в литературе средних содержаний урана и тория в отдельных группах пород земной коры при практической работе (выяснении провинциальных радиогеохимических особенностей регионов, сравнении радиоактивности горных пород, определении аномальных содержаний и т. п.) ограничены, так как цифры средних значений получены по слишком обобщенным группам геологических образований. Для решения указанных практических задач, помимо использования общих кларков, целесообразно и необходимо определение так называемых местных кларков, т. е. средних содержаний урана и тория в горных породах, развитых в том или ином регионе. С этой целью были определены средние содержания радиоактивных элементов для главных типов пород, развитых на территории Саксо-Тюрингии. Результаты подобного анализа приведены в табл. 3 и 4.

В целом местный кларк радиоактивных элементов для пород Саксо-Тюрингии для урана — 4,4, тория — 11,3 г/т (табл. 4). В этой же таблице приведены местные кларки радиоактивных элементов для различных структурных этажей и ярусов, а в табл. 3 — для различных литологических разновидностей. Приведенные данные, с одной стороны, свидетельствуют о несущественном различии рассчитанных местных кларков для большинства пород района от общих кларков, с другой — на основании большого статистического материала позволяют конкретизировать местные кларки для значительного количества геологических разновидностей.

Резко повышенными средними содержаниями урана и тория (в отдельных комплексах) выделяются гранитоиды каменноугольного и пермско-каменноугольного возраста, а также сибирские черные сланцы и медистые сланцы цехштейна (P_2).

3.1. Радиогеохимия осадочных и метаморфических пород

Результаты радиогеохимического изучения осадочных отложений свидетельствуют о широком диапазоне содержаний урана и тория и о наличии ряда специализированных (обогащенных радиоактивными элементами) комплексов пород. Среди осадочных пород с рядовым содержанием $C_{\text{орг}}$ (0,3–0,5 %) по радиогеохимическим особенностям можно выделить несколько групп: терригенные, кремнистые, карбонатные (табл. 3). Из таблицы следует, что в терригенных отложениях фиксируются два максимума в содержании урана: наряду с грубообломочными породами повышенные концентрации урана широко распространены также в тонкозернистых (глинистых) отложениях.

Наличие двух максимумов концентрации урана в осадочных отложениях различных фациальных зон (в грубообломочных породах, с одной стороны, и в пелитовых осадках, с другой) отражает две главные формы миграции элемента: а) с обломками породообразующих и акцессорных минералов и б) в виде коллоидных и истинных растворов.

Содержание и соотношение урана и тория в аргиллитах и алевролитах зависит от их минералогического состава. Установлено, что максимальное содержание тория свойственно гидрослюдистым, а урана — каолинитовым аргиллитам. Повидимому, большая часть тория переносится в бассейн седиментации адсорбированной на глинистых частицах или гидроокислах железа. Не менее четкая закономерность в распределении тория и урана в осадочных породах района вообще и в терригенных осадках в частности устанавливается в распределении концентрации обоих элементов в зависимости от условий формирования в земной коре. Как видно из табл. 3, среднее содержание урана и тория в осадочных отложениях геосинклинальной стадии существенно выше, чем в осадках чехла платформы. В целом для конгломератов платформенного этажа среднее содержание урана и тория составляют соответственно (в г/т): 3,1 и 8,5, для конгломератов геосинклинального этажа 3,8 и 11,5. Для песчаников подобные цифры составляют (в г/т): 2,1 и 6,7 (платформенные отложения) и 4,2 и 13,0

(геосинклинальные отложения), для известняков – 2,2 и 2,7 и 3,0 и 5,1 соответственно.

Определенные закономерности в распределении урана и в меньшей степени тория устанавливаются и внутри каждой геоструктурной зоны (табл. 5). Для осадочных отложений геосинклинального этажа (песчаников, конгломератов, алевролитов, сланцев, глин и др.) характерно увеличение концентрации урана от начального к среднему и позднему этапам. В подавляющем большинстве случаев максимальные концентрации урана устанавливаются в геологических образованиях пермско-каменноугольного возраста. Например, для песчаников кембрия среднее содержание урана (в г/т): – 2,2, ордовика – 2,4, девона – 2,4, карбона – 4,2, ранней перми – 4,0; конгломератов девона – 1,2, карбона – 4,0, ранней перми – 3,9; алевролитов девона – 1,6, карбона – 4,0, ранней перми – 3,9; глинистых сланцев ордовика – 2,8, девона – 2,5, карбона – 3,0, ранней перми – 5,8. В отличие от песчаников, конгломератов, алевролитов, глин и других пород геосинклинального этажа, в аналогичных образованиях платформенного чехла распределение концентраций урана и тория практически не зависит от их возраста и достаточно равномерно по всему разрезу (табл. 5). Исключение составляют образования цехштейна (P_2), где повсеместно во всех литологических разностях наблюдается повышение радиоактивных элементов в полтора-два раза, а среди последних аномально повышенными концентрациями урана (13,5 г/т) и резко пониженным торий-урановым отношением (0,5) выделяются медистые сланцы.

Торий-урановое отношение в терригенных осадках колеблется в широких пределах от 1 до 5, иногда выше. Допускается возможность использования этого параметра для определения фациальной принадлежности пород, считая, что его высокие значения характерны для грубозернистых осадков прибрежных фаций, где накапливаются устойчивые к выветриванию торий-содержащие минералы. Однако нужно иметь в виду, что увеличение торий-уранового отношения в окисленных песчаниках и конгломератах может объясняться также частичным выносом урана при эпигенетических преобразованиях пород.

Кремнистые отложения (кремнистые сланцы, кварциты) содержат значительно меньше радиоактивных элементов и отличаются несколько пониженным торий-урановым отношением. Небольшие количества урана и особенно тория характерны также для известняков и мергелей: 2,2 и 2,7 г/т урана, 3,1 и 8,5 г/т тория. Такой же уровень концентрации урана и тория установлен в доломитах: 1,4 и 3,6 г/т. Количество тория в карбо-

**Уран и торий в осадочных и вулканогенно-осадочных образованиях
Саксо-Тюрингии, г/т**

Разновидности пород и районы	U	Th	Th/U
Верхний структурный (платформенный) этаж (P₂-K₂):			
В целом	2,6	6,9	2,6
Без медистых сланцев	2,5	6,9	2,8
Верхний структурный ярус (K₂-K₁):	2,3	8,3	3,5
K₂ в целом	2,4	8,4	3,5
В том числе:			
конгломераты	2,2	7,3	3,3
гравелиты	3,0	6,6	2,2
песчаники	1,7	5,3	3,1
углистые песчаники	4,0	8,4	2,1
алевролиты	3,4	12,8	3,8
аргиллиты	2,9	13,8	4,8
глины	3,9	15,8	4,0
сланцы глинистые	3,4	11,4	3,4
известняки	1,1	3,1	2,8
мергель	1,9	9,4	4,9
В том числе районы:			
1) Эльбтальский грабен	2,7	9,2	3,4
2) Субгерцинская мульда	1,8	4,8	2,7
3) Теплицкая зона и Эльбтальские сланцевые горы	1,7	3,6	2,1
4) Каменецкие горы	1,6	2,2	1,4
5) Миттенвальдская ступень	2,2	7,2	3,7
6) Южноальтмаркская ступень	2,0	7,0	3,5
7) Плато Кальвёрде	2,1	6,8	3,3
8) Нижнелаузицкая ступень	2,3	7,0	3,0
9) Бухгольцкая ступень	1,3	5,3	4,1
K₁ в целом:	1,7	4,7	2,8
В том числе:			
песчаники	1,1	2,3	2,1
аргиллиты	2,0	9,1	4,6
глины	3,6	8,4	2,3
известняки	2,4	8,6	3,6
В том числе районы:			
1) Субгерцинская мульда	1,7	4,3	2,5
2) Миттенвальдская ступень	2,0	9,1	4,6
3) Плато Кальвёрде	2,2	13,7	6,2
4) Нижнелаузицкая ступень	3,7	15,3	6,2
5) Субгерцинская мульда	3,4	13,4	3,9

Разновидности пород и районы	U	Th	Th/U
T₃ в целом	2,7	8,3	3,1
В том числе:			
песчаники	2,4	6,6	2,8
алевролиты	2,5	10,3	4,1
аргиллиты	2,8	9,5	3,4
глины	2,6	10,4	4,0
сланцы глинистые	4,5	9,6	2,1
сланцы углистые	6,8	7,3	1,1
известняки	1,6	4,3	2,7
мергели	2,2	6,8	3,1
доломиты	1,9	6,1	3,2
ангидрит, гипс	2,4	4,9	2,0
граувакки	6,6	22,8	3,5
В том числе районы:			
1) Франконский бассейн	3,9	10,8	2,8
2) Нижнелаузицкая ступень	2,7	7,8	2,9
3) Тюрингский бассейн	2,8	6,4	2,3
4) Плато Кальвёрде	2,1	8,6	4,1
5) Субгерцинская мульда	2,0	7,1	3,5
6) Миттенвальдская ступень	2,9	10,5	3,6
7) Флехтинген-Росслауцкая плита	2,2	9,0	4,1
8) Южноальтмаркская ступень	2,5	10,6	4,2
T₂ в целом	2,2	2,4	1,1
В том числе:			
песчаники	1,1	5,6	5,1
аргиллиты	3,3	3,8	1,2
глины	3,2	6,6	1,2
сланцы глинистые	3,6	9,4	2,6
известняки	2,2	2,3	1,0
мергели	1,5	4,4	2,9
P₂ в целом	3,4	6,9	2,0
Без медистых сланцев	2,8	6,9	2,5
В том числе:			
конгломераты	4,0	9,8	2,4
гравелиты	3,7	16,4	4,4
песчаники	2,8	12,0	4,3
алевролиты	3,8	12,9	3,4
аргиллиты	5,4	14,4	2,7
глины	5,6	11,9	2,1

Разновидности пород и районы	U	Th	Th/U
сланцы	4,3	6,5	1,5
сланцы медистые	13,5	6,7	0,5
известняки	2,6	3,4	1,3
мергели	3,2	10,0	3,1
доломиты	2,1	2,8	1,3
ангидрит, гипс	1,9	2,5	1,3
осадочные породы	2,2	9,0	4,1
В том числе районы:			
1) Франконский бассейн	3,4	5,6	1,6
2) Мюгельнская мульда	3,0	10,9	3,6
3) Тюрингский бассейн	2,5	5,0	2,0
4) СЗ Саксония (без медистых сланцев)	2,5	5,0	2,0
5) Шмёлнский грабен (без медистых сланцев)	3,1	7,2	2,3
6) Цигенрюкская мульда	2,1	2,0	1,0
7) Субгерцинская мульда	3,4	8,2	2,4
8) Плато Кальвёрде	4,0	7,6	1,9
9) Флехтинген-Росслауцкое поднятие	5,9	9,1	1,5
10) Бухгольцкая ступень	2,7	3,3	1,2
11) Нижнелаузицкая ступень	3,0	3,8	1,3
12) Миттенвальдская ступень	3,6	6,8	1,9
13) Южноальтмаркская ступень	3,5	10,5	3,0
C₂–P₁ в целом (СЗ Саксония)	3,6	13,1	3,6
В том числе:			
конгломераты	2,9	9,6	3,3
песчаники	3,5	13,4	3,8
алевролиты	3,8	13,5	3,6
глины	4,4	15,3	3,5
сланец глинистый	2,6	11,0	4,2
известняк	2,1	1,6	0,8
мергель	3,3	—	—
доломиты	1,0	1,5	1,5
граувакки	1,3	9,2	7,1
осадочные породы	5,2	19,3	3,7
C₂ в целом	4,4	13,7	3,1
В том числе:			
конгломераты	4,8	11,2	2,3
песчаники	4,0	12,2	2,5
алевролиты	4,1	7,3	4,2
аргиллиты	4,0	—	—

Разновидности пород и районы	U	Th	Th/U
Нижний структурный ярус (P₂–J):			
В целом	2,7	6,5	2,4
Без медистых сланцев	2,5	6,4	2,6
J₃ в целом	1,7	6,7	3,9
В том числе:			
песчаники	1,7	7,4	4,3
алевролиты	1,0	4,2	4,2
аргиллиты	2,3	9,1	4,0
глины	2,8	11,2	4,0
сланцы глинистые	1,0	8,3	8,3
известняки	1,3	1,7	1,3
мергели	1,3	8,9	6,8
В том числе районы:			
1) Миттенвальдская ступень	2,0	6,0	3,0
2) Южноальтмаркская ступень	1,2	8,7	7,3
3) Плато Кальвёрде	1,5	6,7	4,4
J₂ в целом	1,6	8,9	5,5
В том числе:			
песчаники	1,3	5,7	4,4
алевролиты	1,6	8,1	5,1
аргиллиты	1,7	10,3	6,1
глины	1,2	11,5	10,0
сланцы глинистые	1,7	11,5	6,8
В том числе районы:			
1) Миттенвальдская ступень	1,4	5,5	3,9
2) Южноальтмаркская ступень	1,3	8,2	6,3
3) Плато Кальвёрде	1,7	9,9	5,8
J₁ в целом	2,2	13,2	6,0
В том числе:			
песчаники	1,6	6,9	4,3
алевролиты	1,9	14,2	7,5
аргиллиты	2,4	14,3	5,9
глины	3,3	14,1	4,3
мергели	2,7	12,3	4,6
уголь	1,9	10,0	5,3
В том числе районы:			
1) Миттенвальдская ступень	2,3	11,7	5,1
2) Южноальтмаркская ступень	1,7	13,8	8,1
В том числе:			
доломиты	2,4	2,7	1,1
ангидрит, гипс	1,0	1,8	1,8

Разновидности пород и районы	U	Th	Th/U
В том числе районы:			
1) Тюрингский бассейн	2,2	2,2	1,0
2) Нижнелаузицкая ступень	2,7	3,4	1,3
3) Флехтинген-Росслауцкая плита	3,9	3,7	1,0
4) Южноальтмаркская ступень	2,9	4,9	1,7
5) Субгерцинская мульда	2,0	2,4	1,2
6) Франконский бассейн	2,0	2,4	1,2
7) Миттенвальдская ступень	2,7	4,0	1,5
T₁ в целом	2,6	8,0	3,1
В том числе:			
конгломераты	2,3	15,0	6,5
гравелиты	3,2	15,8	4,9
песчаники	2,1	6,6	3,1
алевролиты	2,9	13,4	4,6
аргиллиты	3,8	13,8	3,6
сланцы	5,4	14,5	2,7
известняки	2,5	6,4	2,5
мергели	2,6	8,9	3,4
доломиты	2,1	6,6	3,1
ангидрит, гипс	2,2	3,4	1,6
В том числе районы:			
1) Мюгельнская мульда	2,6	11,9	4,6
2) Франконский бассейн	2,1	7,4	3,5
3) Шмёлнский грабен	2,7	3,9	5,4
4) Северо-Западная Саксония	3,1	10,6	3,4
5) Бухгольцкая ступень	2,5	8,6	3,4
6) Нижнелаузицкая ступень	2,3	7,4	3,2
7) Тюрингский бассейн	2,6	6,9	2,7
8) Флехтинген-Росслауцкая плита	3,0	7,1	2,4
9) Южноальтмаркская ступень	3,4	13,9	4,1
10) Субгерцинская мульда	2,8	9,6	3,4
11) Миттенвальдская ступень	3,2	9,3	2,9
15) Плато Кальвёрде	3,4	10,3	3,0
Средний геосинклинальный структурный этаж (каледоно-варисский) €-P₁:			
В целом	5,1	12,9	2,5
Без вулканических пород P ₁ , C ₂ -P ₁ и S	3,6	13,4	3,7
Варисский подэтаж (S-P₁):			
В целом	5,4	16,1	3,0
Без вулканических пород P ₁ , C ₂ -P ₁ и S	3,7	12,5	3,4

Разновидности пород и районы	U	Th	Th/U
Верхний структурный ярус (C₂-P₁):			
В целом (осадочные + вулканогенные)	5,0	19,8	4,0
В том числе:			
осадочные	4,2	13,5	3,2
вулканогенные	5,6	23,1	4,1
P₁ в целом	4,2	13,5	3,2
В том числе:			
конгломераты	3,2	11,7	3,7
песчаники	4,0	13,0	3,3
алевролиты	3,9	15,6	4,0
аргиллиты	3,4	12,9	3,8
глины	4,6	14,8	3,2
сланцы глинистые	5,8	14,5	2,5
сланцы углистые	6,1	8,4	1,4
известняки	2,5	3,0	1,2
мергели	5,2	11,4	2,2
уголь	6,2	3,1	0,5
суглинок	5,5	18,0	3,3
гравелиты	3,2	—	—
осадочные породы	3,5	19,9	3,6
конгломераты, песчаники	3,2	6,3	2,9
В том числе районы:			
1) Тюрингский Лес	5,2	13,8	2,7
2) Гарц	2,7	9,5	3,5
3) Франконский бассейн	3,4	15,4	4,5
4) Тюрингский бассейн	2,2	9,8	4,5
λP ₁ ¹ риолитовые порфиры и их туфы	5,8	23,9	4,1
Покровные и экструзивные образования:			
1) Тюрингский Лес	6,1	29,3	4,8
2) СЗ Саксония	5,4	20,2	3,7
3) Гарц	7,2	8,6	1,2
4) Фляй-Зейферсдорф	8,2	38,1	4,6
5) ЮЗ обрамление Гранулитовых гор	5,8	22,7	3,9
6) Флехтинген-Росслауцкая плита	4,9	9,6	2,0
αP ₁ порфириты и мелафиты (трахиандезито-дациты, лавы, пирокласты)	4,4	13,5	3,1
1) Тюрингский Лес	2,2	4,6	2,1
2) Северо-Западная Саксония	3,9	17,9	4,6
3) Юго-восточное обрамление Гранулитовых гор	3,5	12,1	3,5
4) Деленская мульда	5,0	13,1	2,2
5) Мюгельнская мульда	6,2	13,5	2,2
6) Флехтинген-Росслауцкая плита	4,5	14,5	3,1
7) Каменецкие горы	3,0	14,7	4,9

натных породах полностью связано с примесью песчано-глинистых обломков: по мере увеличения глинистости закономерно растет содержание тория и, как следствие, торий-урановое отношение. Если содержание тория в чистых известняках 3,1 г/т, то в известковисто-глинистых – 11,5 г/т (табл. 6). Более сложно распределяются радиоактивные элементы в углеродистых сланцах и углях (табл. 3). Наряду с низким содержанием урана в углеродистых (углистых) сланцах и углях – 1,8–2,8 г/т, часто фиксируются его повышенные концентрации до 5,0–7,0 г/т. Иногда концентрации урана достигают аномальных значений – 15,6 г/т в углях Бертельсдорф-Хайникенской мульды. Содержание тория в углеродистых сланцах и углях Саксо-Тюрингии в два с половиной раза выше кларковых и выше концентрации в подобных образованиях других районов. По мнению многих исследователей, высокое содержание радиоактивных элементов в каустобиолитах связано с наложенными процессами инфильтрации подземных и поверхностных вод, из которых уран осаждался органическим веществом.

Своеобразием радиогеохимических характеристик среди геологических образований Саксо-Тюрингии отличаются осадочно-вулканогенные породы девонского возраста. Их главная отличительная особенность – резкое обеднение радиоактивными элементами (табл. 5). Средние концентрации урана и тория в отложениях девона значительно ниже, чем в аналогичных породах иного возраста. Кроме того, для всех литологических разностей на большинстве участков развития

Таблица 6

Уран и торий в сланцах Саксо-Тюрингии

Горные породы	U, г/т	Th, г/т	Th/U
Сланцы (исключая черные и медистые)	3,4	14,6	4,3
В том числе глинистые	3,2	14,3	4,5
Слюдистые, слюдисто-глинистые	3,7	16,1	4,4
Кремнистые	3,8	6,6	1,7
Известково-глинистые	2,4	11,5	4,8
Граувакковые	2,5	8,4	3,3
Филлиты, глинистые сланцы	3,7	17,3	4,7
Кварцитовидные	2,5	11,7	4,7
Серицит-хлоритовые	3,1	4,6	1,4
Углистые	7,1	8,8	1,2
Черные	17,8	5,6	0,3
Медистые	13,5	6,7	0,5

девонских отложений характерно резкое нарушение первично-конституционального распределения как урана, так и тория. Такое распределение радиоактивных элементов устанавливается в Рудногорско-Пихтовогорском антиклинории, Восточно-Тюрингском поднятии, Роннебургском рудном поле, Носсен-Вильсдруфских сланцевых горах и в других местах. Установленная закономерность позволяет с достаточной долей уверенности предположить, что в девонское время на территории Саксо-Тюрингии в результате наложенных процессов происходила глубокая переработка материала с разрушением минералого-геохимических ассоциаций, освобождением, перераспределением и возможным выносом химических (в том числе радиоактивных) элементов. Одним из факторов могла служить аридизация климата в девонский период.

Интенсивное разделение в зоне литогенеза урана и тория — характерная черта осадочной геохимии радиоактивных элементов, которая особенно отчетливо проявляется при формировании геохимически специализированных комплексов. Закономерное появление этих комплексов в истории геологического развития отмечает эпохи сингенетического накопления урана и тория, имеющие, по мнению некоторых исследователей, важное металлогеническое значение [Неручев, 2007; Карпунин и др., 2012].

Первично ураноносные черные сланцы распространены в различных частях земного шара как среди типично геосинклинальных образований, так и среди отложений платформенных эпиконтинентальных бассейнов. Их формирование тесно связано с накоплением в зоне литогенеза органического вещества [Юдович, Кетрис, 1988]. В пределах Саксо-Тюрингии черные углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые сланцы силурийского возраста получили широкое развитие. Их литологическая, минералогическая, геохимическая и иные характеристики наиболее полно изучены в пределах Роннебургского рудного поля. В то же время детальных радиогеохимических исследований за его пределами в свое время выполнено не было. По своим радиогеохимическим параметрам черные сланцы Саксо-Тюрингии практически не отличаются от аналогичных образований, распространенных в других частях земного шара. Среднее содержание урана в них, рассчитанное в целом для региона по 2000 анализам (табл. 6), составляет 17,8 г/т, причем концентрации урана в нижних сланцах, где преобладают углеродисто-кремнистые разности, несколько ниже — 17,7, по сравнению с верхними сланцами с преимущественным преобладанием углеродисто-глинистых разностей — 21,6. Более существенно

они различаются по распределению тория и торий-урановому отношению. При средней концентрации тория в толще черных сланцев 5,6 г/т (что гораздо ниже кларка) и торий-урановому отношению 0,3, нижние сланцы содержат тория 3,9 г/т (торий-урановое отношение 0,2), верхние – в два раза больше (7,8 г/т, торий-урановое отношение 0,4). Черные сланцы также заметно обогащены по сравнению с кларком молибденом, ванадием, медью, никелем, свинцом, иногда цинком.

Определенный интерес вызывают особенности пространственного распределения радиоактивных элементов в черных сланцах. Отвлекаясь от средних значений, можно отметить совершенно определенное и закономерное изменение этого соотношения в широтном направлении (V%). В западной части Саксо-Тюрингии (Шварцбургское поднятие, Рудольштадт, Франкенвальдское поднятие) концентрации урана в углеродисто-кремнистых сланцах в полтора-два раза выше, чем в углеродисто-глинистых (табл. 7). Восточнее (Восточно-Тюрингское поднятие, Роннебургское рудное поле, Шмёльнский грабен, северо-западное обрамление Гранулитовых гор) концентрации урана как в нижних, так и в верхних сланцах становятся практически одинаковыми. Еще дальше на восток (ближайшее обрамление Рудных гор, юго-восточное обрамление Гранулитовых гор) отмечается уже обратное соотношение: содержание урана в углеродисто-глинистых сланцах выше в два раза, чем в углеродисто-кремнистых. Причины такого распространения пока не ясны. Не исключено, что подобная закономерность связана с радиогеохимическими особенностями областей сноса или со специфическими условиями накопления радиоактивных элементов.

Если рассматривать валовое (суммарное) распределение урана в черных сланцах (как углеродисто-кремнистых, так и углеродисто-глинистых) Саксо-Тюрингии, то совершенно отчетливо фиксируется другая закономерность. В центральной части площади выделяется широкая полоса север-северо-восточного направления, включающая Восточно-Тюрингское поднятие, район Роннебургского рудного поля, Шмёльнский грабен с относительно пониженными (15–17 г/т) концентрациями урана. Вместе с тем в обрамлении этой полосы как к северо-западу (Шварцбургское поднятие, Рудольштадт, Франкенвальдское поднятие), так и к юго-востоку (Западные Рудные горы, северо-западное и юго-восточное обрамление Гранулитовых гор) в черных сланцах фиксируются повышенные (25–36 г/т) концентрации урана, т. е. намечается определенная зональность в его распределении по площади. Одним из факторов форми-

Геолого-структурные подразделения	Углеродисто-глинистые сланцы					Th/U
	U (г/т)		Th (г/т)		Th/U	
	$\frac{\text{Среднее}}{\text{мин-макс}}$	V%	$\frac{\text{Среднее}}{\text{мин-макс}}$	V%		
Шварцбургское поднятие	$\frac{19,4}{8,0-30,0}$	32	$\frac{8,0}{1,0-13,0}$	40,5	0,4	
Район Рудольштадта	17,3	53,5	9,1	36,5	0,5	
Франкенвальдское поднятие	25,3		10,7		0,4	
Восточно-Тюрингское поднятие	16,9	49,0	10,2	32,5	0,6	
Юго-восточное крыло Главной Фогтландской синклинали	$\frac{18,0}{1,0-49,0}$	79,5	$\frac{7,5}{1,0-15,0}$	55,0	0,4	
Роннебургское рудное поле	$\frac{14,0}{5,2-33,0}$	37,0	$\frac{9,4}{2,9-15,4}$	32,0	0,7	
Шмёлнский грабен	$\frac{14,5}{5,2-31,7}$	54,0	$\frac{9,8}{1,1-14,0}$	34,0	0,6	
Северо-западное обрамление Гранулитовых гор	$\frac{28,6}{21,5-40,0}$		$\frac{11,3}{9,0-14,0}$		0,4	
Юго-западная часть Рудногорского бассейна	$\frac{34,4}{3,0-58,0}$	59,5	$\frac{6,3}{1,0-12,0}$	68,0	0,2	
Юго-восточное обрамление Гранулитовых гор						
Носсен-Вильсдруфские горы	$\frac{14,0}{10,0-17,0}$					
Гёрлицкие горы						
Флехтинген-Росслауцкое поднятие						
Эльбталские сланцевые горы						
Саксо-Тюрингская область	$\frac{21,6}{1,0-58,0}$		$\frac{7,8}{1,0-21,0}$		0,4	

Таблица 7

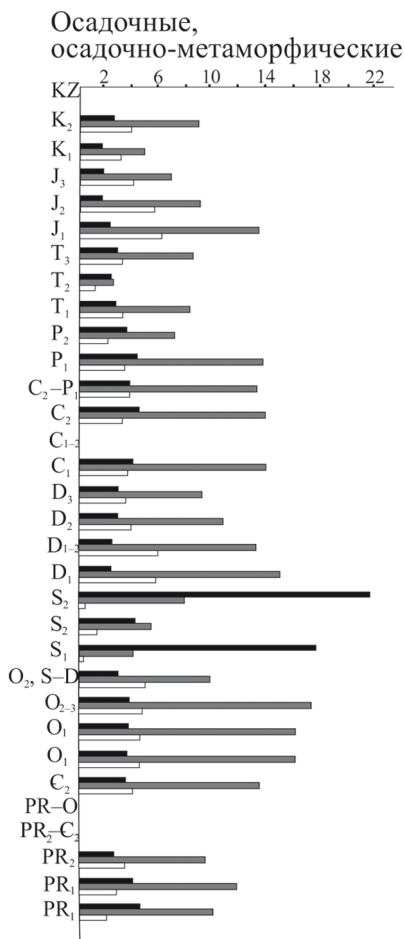
Цах силура Саксо-Тюрингии

Углеродисто-кремнистые сланцы					Углеродисто-глинисто-кремни- стые сланцы			
U (г/т)		Th (г/т)		Th/U	U (г/т)	Th (г/т)	Th/U	
$\frac{\text{Среднее}}{\text{мин-макс}}$	V%	$\frac{\text{Среднее}}{\text{мин-макс}}$	V%		$\frac{\text{Среднее}}{\text{мин-макс}}$	$\frac{\text{Среднее}}{\text{мин-макс}}$		
$\frac{34,5}{7,3-76,0}$	61,5	$\frac{2,8}{1,0-6,0}$	71,5	0,1	$\frac{29,0}{7,3-76,0}$	$\frac{4,8}{1,0-13,0}$	0,2	
$\frac{35,9}{5,1-58,0}$		$\frac{4,2}{0,5-13,0}$		0,1	$\frac{27,5}{4,7-58,0}$	$\frac{5,9}{0,5-15,0}$	0,2	
$\frac{8,7}{24,0-62,0}$		$\frac{5,6}{3,0-11,0}$		0,2	$\frac{36,0}{24,0-62,0}$	$\frac{6,9}{3,0-11,0}$	0,2	
17,0	71,5	$\frac{3,3}{0,7-12,0}$	80,0	0,2	$\frac{17,0}{1,0-58,5}$	$\frac{4,5}{0,7-21,0}$	0,3	
$\frac{12,8}{1,0-30,0}$	66,0	$\frac{1,8}{1,0-3,7}$	50,0	0,1	$\frac{15,7}{1,0-49,0}$	$\frac{4,6}{1,0-15,0}$	0,3	
$\frac{14,8}{1,0-57,5}$	63,0	$\frac{3,6}{1,0-8,6}$	57,0	0,2	$\frac{14,7}{1,0-57,5}$	$\frac{4,6}{1,0-15,4}$	0,3	
$\frac{17,0}{2,2-40,0}$	51,0	$\frac{3,8}{1,0-8,2}$	56,5	0,2	$\frac{15,7}{2,2-40,0}$	$\frac{5,5}{1,0-14,0}$	0,4	
$\frac{28,4}{6,2-58,0}$	38,0	$\frac{7,1}{1,0-16,0}$	30,0	0,3	$\frac{28,4}{6,2-58,0}$	$\frac{7,4}{1,0-16,0}$	0,3	
$\frac{16,3}{1,0-44,0}$	55,0	$\frac{3,6}{1,0-10,0}$	74,5	0,3	$\frac{25,2}{1,0-58,0}$	$\frac{4,9}{1,0-12,0}$	0,2	
$\frac{23,4}{22,0-26,0}$		$\frac{8,4}{5,0-14,0}$		0,4	$\frac{23,4}{22,0-26,0}$	$\frac{8,4}{5,0-14,0}$	0,4	
$\frac{13,0}{8,9-17,3}$		$\frac{4,6}{2,9-6,0}$		0,4	$\frac{13,7}{8,9-17,3}$	$\frac{4,6}{2,9-6,0}$	0,3	
					$\frac{14,4}{1,0-41,0}$	$\frac{7,3}{1,0-19,5}$	0,5	
					$\frac{7,1}{2,9-11,0}$	$\frac{10,3}{6,3-15,0}$	1,4	
					$\frac{2,9}{1,0-8,6}$	$\frac{1,8}{1,5-4,6}$	0,6	
$\frac{17,7}{1,0-76,0}$		$\frac{3,9}{0,5-16,0}$		0,2	$\frac{17,8}{1,0-76,0}$	$\frac{5,6}{1,0-21,0}$	0,3	

рования подобной зональности может являться эпигенетический вынос урана из черных сланцев с дальнейшим переотложением на месторождениях Роннебургского рудного поля.

Черные сланцы, развитые на периферии Саксо-Тюрингской области, выделяются наиболее пониженными концентрациями урана. На северо-западе площади, в юго-восточной части Флехтингена, среднее содержание урана составляет 7,1 г/т, а на юго-востоке в Эльбталских сланцевых горах еще меньше – 2,9 г/т. Более равномерно в толще черных сланцев на площади распределяются торий и торий-урановое отношение (табл. 7). О средних величинах обоих параметров уже говорилось выше. Необходимо лишь добавить, что колебание значений радиогеохимических параметров для различных участков территории так же незначительны: по торью они составляют 2–8 г/т для нижних черных сланцев и 6–11 г/т для верхних; по торий-урановому отношению – 0,1–0,4 и 0,2–0,7 соответственно.

На рис. 5 и в табл. 4 приведено возрастное (стратиграфическое) распределение радиоактивных элементов в горных породах Саксо-Тюрингской области. В размещении урана (в меньшей степени тория) установлена определенная периодичность: выделяются эпохи его максимального сингенетического накопления в осадках, когда образуются радиогеохимически специализированные комплексы. Самой ранней радиогеохимической эпохой накопления урана в Саксо-Тюрингской области является силурийская, во время которой образовались углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые сланцы, обладающие аномальными концентрациями урана практически на всей её территории.



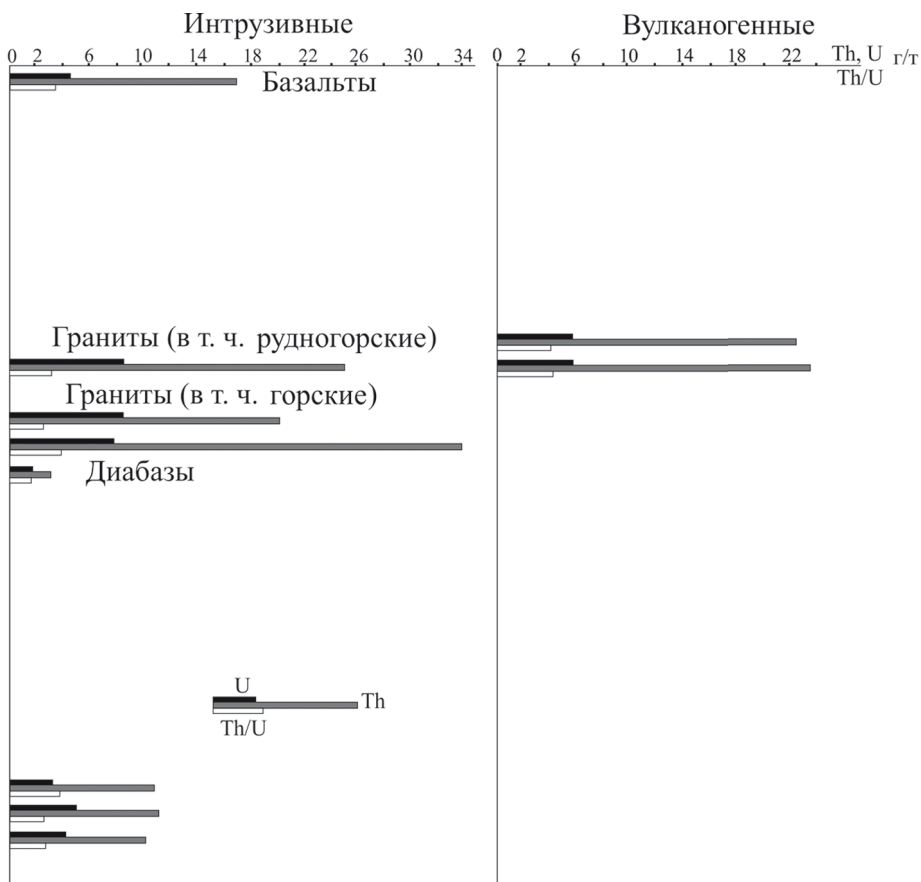


Рис. 5. Распределение урана и тория в осадочных, осадочно-метаморфических и магматических породах Саксо-Тюрингии

Вторая радиогеохимическая эпоха отмечается в пермско-каменноугольное – пермское время, когда повышенные концентрации урана накапливались в терригенных осадках. Наиболее интенсивно этот процесс осуществлялся в медистых сланцах цехштейна (P_2).

В табл. 8 приведены данные по распределению радиоактивных элементов в осадочных и метаморфических образованиях на территории различных геолого-структурных единиц Саксо-Тюрингии. Наиболее повышенными средними концентрациями (\bar{x}) урана и тория выделяются отложения Роннебургского

Таблица 8
Уран и торий в осадочных и осадочно-метаморфических образованиях основных структурных единиц Саксо-Тюрингии, г/т

Основные структурные единицы	Суммарное содержание			Черные сланцы и известняки силура			Без огложенный силура		
	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U
	\bar{x}	\bar{x}		\bar{x}	\bar{x}		\bar{x}	\bar{x}	
Флехтинген-Рослауцкое поднятие	3,1	6,7	2,2	7,1	10,3	1,4	2,4	6,1	2,5
Субгерцинская мульда	2,3	6,7	2,9						
Гарц	2,9	9,4	3,2						
Мюгельнская мульда	2,8	11,1	4,0						
Каменецкие сланцевые горы	2,4	9,3	3,9						
Герлицкие горы	5,2	11,6	2,2	14,1	7,2	0,5	2,4	12,9	5,4
Франконский бассейн	2,3	6,6	2,9						
Тюрингский бассейн	3,1	6,7	2,1						
Тюрингский Лес	3,0	11,4	3,8						
Шварцбургское поднятие	6,2	17,1	2,8	23,3	5,0	0,2	3,3	19,1	5,8
Район Рудольштадта	7,7	11,5	1,5	18,8	5,9	0,3	2,3	15,3	6,6
Цигенрюкская мульда	2,5	11,7	6,3						
Роннебургское рудное поле	8,5	9,7	1,1	12,6	4,7	0,4	3,8	13,4	3,5
Шмёлнский грабен	4,3	9,5	2,2	11,9	5,0	0,4	2,4	10,1	4,2
Северо-западное обрамление Гранулитовых гор	6,8	13,6	2,0	16,1	7,0	0,4	2,7	16,6	6,1
Гранулитовые горы	2,4	10,6	4,4						

Юго-восточное обрамление Гранулитовых гор	4,5	14,1	3,1	23,4	8,4	0,4	4,4	14,1	3,2
Носсен-Вильсдруфские горы	4,2	11,2	2,7	6,3	10,8	1,7	3,8	11,3	3,0
Восточно-Порингское поднятие	7,1	13,0	1,8	14,5	4,5	0,3	3,4	17,0	5,0
Ядерная часть Главной Фогтландской синклинали	3,5	11,7	3,3						
Юго-восточное крыло Главной Фогтландской синклинали	7,0	8,8	1,3	15,3	4,6	0,3	2,9	10,6	3,6
Район Берген-Кирхберг	2,5	8,3	3,3	2,4	4,0	1,7	2,7	12,7	4,7
Деленская мульда	6,5	17,4	2,7						
Тарандов лес	4,4	10,3	2,3						
Клингенталь-Адорф (Брамбак)	3,9	17,3	4,4						
Эльбтальский грабен	2,7	9,2	3,4						
Теплицкая зона и Эльбтальские сланцевые горы	4,2	10,5	2,5	2,9	1,8	0,6	4,2	10,5	2,5
Доберлугская мульда	3,0	13,0	4,3						
Доберлугская синклинальная зона	4,2	2,0	0,5						
Северо-Западная Саксония	4,0	12,3	3,1						
Плато Кальвёрде	2,6	10,1	3,9						
Миттенвальдская ступень	2,7	8,5	3,2						
Южноальтмаркская ступень	2,5	11,0	4,4						
Бухгольцкая ступень	2,3	6,9	3,0						
Нижнелаузицкая ступень	2,5	6,3	2,5						

рудного поля – 8,5 и 9,7 г/т, район Рудольштадта – 7,7 и 11,5 г/т, Рудногорско-Фогтландская синклиналь – 7,1 и 14,5 г/т, Восточно-Тюрингское поднятие – 7,1 и 13,0 г/т, юго-восточное крыло Главной Фогтландской синклинали – 7,0 и 8,8 г/т, северо-западное обрамление Гранулитовых гор – 6,8 и 13,6 г/т. На всей остальной территории в отложениях прочих геолого-структурных единиц валовые средние содержания урана и тория практически одинаковы и составляют соответственно 2–5 г/т урана и 5–15 г/т тория. Эти параметры существенно изменятся, если не учитывать количества урана и тория, находящиеся в углеродисто-глинистых и углеродисто-кремнистых сланцах и известняках силура. Такой перерасчет также приведен в табл. 8.

Имеющиеся материалы по радиоактивности метаморфических пород свидетельствуют об интенсивной миграции урана и тория в процессе прогрессивного регионального метаморфизма. Вполне обоснованным представляется вывод о выносе урана и тория из пород в зонах проявления эклогитовой, гранулитовой и отчасти амфиболовой фаций метаморфизма, что подтверждает сделанные ранее заключения подобного поведения рудных элементов для урана [Смыслов, Титов, 1967], золота и меди [Карпунин, 1974]. Из табл. 9 следует, что по мере увеличения степени регионального метаморфизма пород Саксо-Тюрингии наблюдается отчетливое снижение их радиоактивности в приведенном количестве (n) пород. Минимальные содержания урана и тория установлены в гранулитах (гранулитовая фация метаморфизма).

По мере уменьшения степени метаморфизма содержание радиоактивных элементов постепенно растет и достигает максимума в породах зеленосланцевой фации. Именно эта фация регионального метаморфизма, по мнению вышеуказанных исследователей, благоприятна для максимального, рудного, накопления урана, золота и цветных металлов. Относительное содержание урана и тория не остается постоянным. Изменяясь в довольно широких пределах от 1,7 до 5,0 торий-урановое отношение указывает на различный характер поведения элементов в разных фациальных зонах регионального метаморфизма. При этом вынос тория в сравнении с ураном (особенно в гранулитовой фации) более интенсивен. Большая часть тория, вынесенного из зон метаморфизма гранулитовой фации, фиксируется преимущественно в породах зеленосланцевой фации и метасоматических гранитоидах (табл. 9, 10). Извлечение урана и тория из пород, подвергшихся метаморфизму, обусловлено, по-видимому, вскрытием кристаллических решеток главным образом пороодообразующих минералов. Перевод извлеченных

Таблица 9

Содержание урана и тория в метаморфических породах Саксо-Тюрингии, г/т

Горные породы	U		Th		Th/U
	n	\bar{x}	n	\bar{x}	
Фация зеленых сланцев					
Филлиты, глинистые сланцы	1283	4,0	1302	17,5	4,4
Слюдистые сланцы	82	3,9	83	15,1	3,9
Кварциты	193	4,3	200	17,1	4,0
Граувакки	47	2,6	32	12,9	4,0
Амфиболиты, диабазы	36	1,3	38	3,5	3,0
Среднее по фации	1645	4,0	1655	17,0	4,2
Альмандин-амфиболовая фация (дистен-альмандин-мусковитовая субфация)					
Слюдистые сланцы	393	3,2	406	13,3	4,2
Кварциты	36	1,0	36	2,4	2,4
Метаграувакки	12	2,1	15	7,1	3,4
Амфиболиты	21	1,4	22	3,8	2,7
Гнейсы	1410	4,0	1431	11,7	2,9
Мраморы	21	1,0	21	2,4	2,4
Среднее по субфации	1893	3,7	1921	11,3	3,5
Альмандин-амфиболовая фация (силлиманит-альмандин-ортоклазовая субфация)					
Амфиболиты	63	2,7	63	4,5	1,7
Гнейсы	426	3,8	417	11,7	3,0
Среднее по субфации	489	3,6	480	10,7	3,0
Среднее по фации	2122	3,7	2134	11,0	3,0
Гранулитовая фация					
Гранулиты	188	1,0	201	3,1	3,1

элементов в миграционно-способную форму в виде силикатных и карбонатных комплексных соединений способствует перемещению металлов на значительные расстояния. Перемещение урана, тория и, вероятно, других элементов в процессе регионального прогрессивного метаморфизма охватывает огромные объемы горных пород, независимо от их первичного состава и происхождения.

Уран и торий в изверженных породах Саксо-Тюрингии, г/т

Порода и её местоположение	U средн.	Th средн.	Th/U
Изверженные породы в целом	5,8	17,4	3,0
Неовулканизм кайнозоя (P–N) в целом	4,6	15,6	3,4
В том числе:			
базальты	2,2	8,5	3,9
фонолиты	8,8	27,5	3,1
В том числе районы:			
1. Франконский бассейн	1,6	8,9	5,5
2. Западная краевая часть Рудных гор	4,6	12,5	2,7
3. Северо-Западная Саксония	2,2	8,9	4,1
4. Лаузиц	2,1	8,1	3,9
5. Гёрлицкие горы	1,8	5,4	3,0
Варисский магматический комплекс D₃–(C₂–P₁)	6,8	20,5	3,0
Позднескладчатый вулканоплутонический комплекс (C₂–P₁)	9,0	25,3	2,8
Рудногорские (гипабиссальные) граниты	12,7	27,6	2,2
В том числе:			
1. Айбеншток:			
порфиroidные (основная фаза)	10,1	10,7	1,1
среднезернистые (1-я доп. фаза)	9,5	6,8	0,7
мелкозернистые (2-я доп. фаза)	8,0	5,4	0,7
2. Гайер-Эренфридерсдорф	16,1	7,1	0,4
3. Аннаберг	11,5	7,6	0,7
4. Шеллерхау	15,2	43,0	2,8
5. Альтенберг	11,4	40,0	3,5
6. Маркерсбах	15,2	39,2	2,6
Граниты (интрузии) гипабиссальные	8,1	27,5	3,4
1. Хеннеберг (Цигенрюкская мульда)	9,2	15,8	1,7
2. Кёнигштайн (Лаузиц)	9,2	27,8	3,0
3. Штольпен (Лаузиц)	5,1	28,4	5,6
Дайки гранит-порфиров π (C₂–P₁)			
1. Фрауэнштайская (Теплицкая зона)	6,8	26,0	3,9
2. Альтенбергская (Теплицкая зона)	6,2	25,0	4,0
Субвулканические тела гранит-порфиров и кварцевых порфиров γπ (C₂–P₁)			
1. Майсенский массив (дайковый комплекс) гранит-порфиры	5,1	19,6	3,8
2. Район Делич, Дессау, Халле (Северо-Западная Саксония) гранит-порфиры	7,4	27,4	3,7
3. Район Гримма-Ошатц (СЗ Саксония) мон-цонит-порфиры	5,7	22,1	3,9

Порода и её местоположение	U средн.	Th средн.	Th/U
4. СЗ Саксония (Гримма) порфирит	3,0	11,2	3,7
5. СЗ Саксония кварцевые порфиры	2,8	9,8	3,5
Гриммские	5,6	22,5	4,0
Гриммские и Нижнехальские	5,1	20,8	4,1
район Халле-Дессау	4,6	19,2	4,2
Интрузивные тела грано-сиенитов и грано-сиенит-порфиров $\gamma\xi$ (C_2-P_1)	4,8	17,9	3,7
1. Район Ошатц	4,6	16,1	3,5
2. Восточнее Лейпцига	5,2	20,0	3,8
3. Тюрингский Лес	5,4	23,1	4,3
Позднеладчатый плутонический комплекс (C_{1-2})			
Горские (гипабиссальные) граниты γC_{1-2}	10,9	21,6	2,0
1. Кирхберг:	12,0	34,1	2,8
порфировидные (основная фаза)	7,9	25,6	3,2
среднезернистые (1-я доп. фаза)	12,5	28,0	2,2
мелкозернистые (2-я доп. фаза)	16,8	37,6	2,2
Граниты Кирхберга	13,5	40,0	3,0
2. Берген	10,1	8,4	0,8
порфировидные (основная фаза)	10,8	11,5	1,1
среднезернистые (1-я доп. фаза)	9,9	7,0	0,7
мелкозернистые (2-я доп. фаза)	6,6	3,7	0,6
3. Фихтельгебирге (Брамбах, Клингенталь-Адорф)	10,8	4,2	0,4
4. Ауэ-Шварценберг (район массива Айбеншток)	9,5	16,2	1,7
В том числе:			
1-я фаза	10,5	22,3	2,1
2-я фаза	7,4	7,3	1,0
5. Лаутер (район массива Айбеншток)	7,0	24,6	3,5
Граниты (интрузии) гипабиссальные	6,5	19,4	3,0
1. Фляй (Теплицкая зона)	5,1	12,6	2,5
2. Нидерборрич (центральная часть Рудных гор)	9,1	22,1	2,4
В том числе:			
среднезернистые	12,2	24,7	2,0
мелкозернистые	7,2	28,8	3,2
нерасчлененные	8,5	21,0	2,5
3. Ризенштайн (район Майсенского массива)	4,5	39,0	8,7
4. Броккен (Гарц)	5,5	20,0	3,6
5. Рамберг (Гарц)	6,0	10,6	1,8

Порода и её местоположение	U средн.	Th средн.	Th/U
Раннескладчатый плутонический комплекс (C₁)			
В целом	8,1	33,5	4,1
Без Гранулитовых гор	7,5	29,0	3,9
В том числе: граниты (интрузии γC_1)	8,0	43,2	5,4
В том числе:			
1. Гранулитовые горы	13,9	73,3	5,3
массив Митвайда	15,0	77,9	5,2
массив Берберсдорф	15,0	72,5	4,8
массив Бургштадт	8,9	58,5	6,6
массив Гангнернер	14,0	71,2	6,1
2. Рула и Бротерода (Тюрингский Лес)	3,6	22,8	6,3
3. Шлейзенталь (Тюрингский Лес)	5,4	28,6	5,3
4. Готтлойба	8,2	10,2	1,1
Гранодиориты (интрузии) $\gamma \beta C_1$	7,3	26,0	3,6
В том числе:			
1. Зуль-Ильмталь (Тюрингский Лес)	4,9	15,9	3,2
2. Делич (СЗ Саксония)	6,1	18,8	3,1
3. Лаас (СЗ Саксония)	3,2	10,6	3,3
4. Майсенский массив (СЗ Саксония)	10,1	36,5	3,6
В том числе:			
1-я фаза (амфибол-биотитовые)	12,4	43,2	3,5
2-я фаза (биотитовые)	9,5	35,0	3,7
5. Претч-Преттин (СЗ Саксония)	4,6	16,7	3,6
Сиено-диориты (интрузии) C₁	11,3	44,1	3,9
1. Майсенский массив (СЗ Саксония)	12,0	45,5	3,8
2. Торгау-Ризи, Штаухиц (СЗ Саксония)	7,3	35,1	4,8
Доскладчатый субвулканический комплекс D₃	1,8	3,3	1,8
Габбро и диориты (C ₁) Восточный Броккен (Гарц)	2,2	7,9	3,6
Габбро, габбро-диабазы, диабазы (D ₃)	1,8	3,3	1,8
В том числе:			
1. Носсен-Вильсдруфские горы	1,9	3,2	1,7
2. Восточно-Тюрингское поднятие	1,5	3,1	2,1
3. Юго-восточное крыло Главной Фогтландской синклинали	1,1	2,5	2,3
4. Юго-восточное обрамление Гранулитовых гор	1,1	2,5	2,3
5. Гёрлицкие горы	1,4	5,1	3,6
6. Гарц	1,6	2,3	1,8
7. Северо-западное обрамление Гранулитовых гор	1,4	3,5	2,5

Порода и её местоположение	U средн.	Th средн.	Th/U
8. Шварцбургское поднятие	4,6	5,7	1,2
9. Район Рудольфштадта	2,5	2,8	1,1
10. Цигенрюкская мульда	1,6	3,8	2,4
11. Ронненбургское рудное поле	3,2	2,1	0,7
12. Шмёльнский грабен	2,1	3,6	1,7
13. СЗ Саксония	1,8	11,5	6,4
Каледонский магматический комплекс	2,9	10,7	3,7
Граниты биотитовые, гранодиориты (PR–O)	4,8	14,7	3,1
В том числе:			
1. Лейпцигский массив (СЗ Саксония)	5,4	22,6	4,2
2. Айленбург-Шильдау (СЗ Саксония)	4,6	10,4	2,3
Гранодиориты биотитовые (PR₂²–O)	2,9	10,1	3,5
В том числе:			
1. Западнолаузицкие (Лаузиц, Каменные горы)	2,9	10,2	3,5
2. Массив Дона (Теплицкая зона)	4,0	9,3	2,3
Гранодиориты двуслюдяные мусковит-биотитовые (PR₂²–O)	2,5	11,0	4,4
В том числе:			
1. Западнолаузицкие (Лаузиц, Каменные горы)	2,5	11,0	4,4
2. Герлицкие горы	3,6	12,4	3,5
Протерозойско-кембрийский магматический комплекс (PR₂²–Є)	5,0	11,2	2,2
Гранито-гнейсы (ортогнейсы) мусковит биотитовые районы – Цоблиц, Аннаберг, Ауэ, Мариенберг, Ольдерон, Зайда, Фляй, Ольбернхау	5,1	10,2	2,0
Красные гнейсы мусковит-биотитовые (ортогнейсы очково-волокнистые) районы: Ольбернхау, Ноебернсдорф, Кюльхойде	4,4	12,5	2,9
Гранито-гнейсы мусковитовые (ортогнейсы) среди пород PR–PZ районы: Дипольдисвальде-Альтенберг)	5,4	10,9	2,0
Гранито-гнейсы очковые, волокнистые (ортогнейсы) районы: Хайнихен-Франкенберг, Аннаберг, Гайер	3,7	12,5	5,4
Мигматиты (серые гнейсы)	4,1	13,1	3,2
Протерозойский магматический комплекс (PR₂)	4,2	10,2	2,4
1. Граниты биотитовые крупнозернистые (Румбургские или Хиршвальдские)	6,7	9,3	1,4
2. Гранодиориты биотитовые роговообманковые (Восточнолаузицкие или Зайденбергские) – Каменные горы, Лаузиц	3,1	10,2	3,3

Порода и её местоположение	U средн.	Th средн.	Th/U
3. Гнейсы гранодиоритового состава (массивы Дессау, Гроссенхайн) – СЗ Саксония	3,2	10,5	3,3
4. Амфиболиты среди гнейсов (отдельные мелкие тела) – СЗ Саксония	4,0	12,7	3,1
Протерозой – кембрий			
Породы ультраосновного и основного состава (амфиболиты, габбро, серпентиниты) – Гранулитовые горы	1,1	3,3	3,0

Примечание: жирный курсив показывает величину радиоактивности в районах с нарушенным первично-конституциональным распределением урана и тория в горных породах.

При этом миграция радиоактивных элементов приводит не только к возникновению радиохимической зональности метаморфических толщ, но и к существенному изменению формы нахождения урана и тория и увеличению неравномерности их распределения в верхних горизонтах. Если в продуктах метаморфизма амфиболовой и гранулитовой фаций уран сохраняется преимущественно в трудноизвлекаемой изоморфной форме, то в зонах проявления зеленосланцевой фации значительная часть металла находится в подвижных соединениях, что имеет решающее значение для его последующей мобилизации рудоформирующими растворами различного генезиса.

Существенный интерес вызывает перераспределение урана и тория под воздействием наложенных постмагматических процессов. Наиболее детально этот вопрос изучался на локальных участках рудных полей и отдельных месторождений на территории Саксо-Тюрингии. Немаловажно отметить, что эти процессы часто фиксируются на значительных площадях (в том числе вне рудных полей) в самых разнообразных по составу породах; с ними связано особо значимое перераспределение (вплоть до рудообразования) различных элементов. Конкретные сведения по поведению урана и тория при гидротермально-метасоматическом преобразовании (окварцевание, карбонатизация, серицитизация, каолинизация и др.) пород получены в пределах развития мариенбергских и фрайбергских слюдяных гнейсов на территории Рудных гор (табл. 11).

Таблица 11

Содержание урана и тория в мариебергских и фрайбергских гнейсах Рудных гор, г/т

Разновидности гнейсов	U				Th				Th/U
	n	\bar{x}	σ	V%	n	\bar{x}	σ	V%	
Мариебергские (неизменные)	2430	4,0	2,0	49	446	11,7	4,4	37	2,9
В том числе биотитовые (Восточные Рудные горы)	318	4,0	1,9	48	326	10,2	3,2	31	2,6
Мусковитовые (там же)	127	5,8	4,4	76	128	8,6	3,7	43	1,5
Биотит-мусковитовые (Восточные и Центральные Рудные горы, Носсен-Вильсдруфские горы)	1985	3,9	1,8	45	1922	12,2	4,4	36	3,1
Мариебергские (гидротермально измененные)	35	4,6	2,5	54	36	12,3	4,5	36	2,7
Фрайбергские (неизменные)	733	4,3	1,8	41	735	10,0	3,0	30	2,3
В том числе биотитовые (Восточные Рудные горы)	38	4,1	1,8	44	41	10,6	3,4	38	2,6
Мусковитовые (там же)	13	5,8	3,6	62	11	7,6	4,2	56	1,3
Биотит-мусковитовые (там же)	682	4,2	1,7	41	683	10,0	2,9	29	2,4
Фрайбергские (гидротермально измененные)	148	6,7	5,3	79	149	9,3	4,6	50	1,4

Для сравнения в этой же таблице приведены данные по распределению радиоактивных элементов в эпигенетически неизмененных мариенбергских и фрайбергских гнейсах. По своим радиогеохимическим параметрам обе разновидности неизмененных гнейсов практически идентичны: средние содержания урана в них — 4,0 и 4,3 г/т, тория 11,7 и 10,0 г/т, торий-урановое отношение 2,9 и 2,3; коэффициенты вариации 49 и 41 %. В обоих случаях при наложении гидротермальных изменений в породах существенно нарушается первичное сравнительно однородное распределение как урана, так и тория, что проявляется в значительном увеличении коэффициентов вариации содержания элементов (до 79 %), их локальном перераспределении, а также однонаправленном в данном случае привносе урана — уменьшение торий-уранового отношения до 1,4. Среднее содержание урана в гидротермально измененных гнейсах увеличивается на 15–60 %. Концентрация тория практически не изменяется.

Вместе с тем, воздействие процессов гранитизации метаморфических пород еще недостаточно для дальнейшего разрушения минералого-геохимических ассоциаций в аксессуарных минералах и мобилизации химических элементов. Поэтому для всех групп гранитизированных и метаморфических пород протерозоя средние концентрации тория остаются практически очень близкими. Более значительные изменения происходят лишь с распределением урана. Прежде всего при гранитизации заметно повышается геохимический фон как в целом для всей группы пород, так и её отдельных разновидностей (табл. 11). Среднее содержание урана в гранитизированных породах составляет 4,9 г/т, увеличиваясь в двуслюдяных очковых гнейсах и гранито-гнейсах до 5,3–6,0 г/т. Для всей группы гранитизированных пород устанавливается повышенное торий-урановое отношение. Для двуслюдяных гнейсов характерны максимальная дисперсия средних значений в отдельных разновидностях — 2,8–11,7 г/т и максимальный разброс абсолютных содержаний в отдельных геохимических пробах — 1,0–17,6 г/т, а также пониженная концентрация тория — 8,4 г/т и минимальное торий-урановое отношение — 1,4. В наибольшей степени эти параметры проявлены в гранито-гнейсах Катаренбергского купола. Кроме того, там наблюдается и нарушение первично-конституционального распределения урана.

С целью изучения влияния дислокационного метаморфизма на геохимический фон радиоактивных элементов в осадочных и метаморфических породах в пределах Рудногорско-Пихтовогорского антиклинория, а также на площадях их гранитизированных разновидностей, была предпринята попытка выявления закономерностей распределения урана и тория в тектонизиро-

ванных породах разрывных нарушений. В выборку для расчета геохимических параметров в целом по каждой тектонической зоне объединялись отдельные значения содержаний радиоактивных элементов в геохимических пробах непосредственно из тектонитов, а также из зальбандов тектонических зон. Результаты расчетов представлены в табл. 12. Независимо от ориентировки зон тектонических нарушений, состава горной породы (осадочная, метаморфическая, продукты гранитизации) и геолого-структурного положения, устанавливаются следующие общие закономерности распределения радиоактивных элементов:

1. Не отмечено ни одного случая, когда концентрации радиоактивных элементов по той или иной тектонической зоне заметно отличаются от концентрации этих же элементов в соответствующих типах неизмененных горных пород.

2. Изменение первично-конституционального распределения урана и тория в зонах тектонических нарушений устанавливается исключительно в тех случаях, когда подобное распределение фиксируется во вмещающих это нарушение горных породах. Нигде не отмечается изменение первично-конституционального распределения в пределах только тектонических зон, т. е. обусловленного какими-то вторичными процессами, вызванными тектонической деятельностью.

Таблица 12

Содержание урана и тория в зонах тектонических нарушений, секущих осадочные, метаморфические породы и продукты гранитизации (Рудные горы)

Тектонические нарушения	Содержание, г/т*		Th/U
	U	Th	

А. Тектонические зоны северо-западного направления

1. Восточный краевой разлом Кримичаусской зоны

Среди отложений Є	5,1 (5,5)	16,1 (17,0)	3,2 (3,1)
Среди отложений O ₁	5,8 (4,6)	15,5 (16,0)	2,7 (3,5)
Среди гнейсов gn ₂	5,4 (5,7)	14,5 (16,7)	2,7 (2,8)

2. Нойензальцский разлом

Среди филлитов O ₁	4,2 (4,0)	18,1 (18,0)	4,3 (4,5)
Среди сланцев O ₁	3,8 (3,8)	15,3 (17,5)	4,0 (4,6)

3. Ройтерский разлом

Среди филлитов O ₁	3,6 (4,1)	17,5 (18,3)	4,9 (4,5)
Среди глинистых сланцев O ₁	3,8 (4,4)	17,2 (17,9)	4,5 (4,1)
Среди кварцитов O ₁	4,6 (5,2)	16,5 (17,7)	3,6 (3,4)

Тектонические нарушения	Содержание, г/г*		Th/U
	U	Th	
4. Шлеттауский разлом			
Среди гнейсов PR ₂₋₃	3,2 (3,8)	13,7 (17,7)	3,6 (3,4)
5. Шенфельдский разлом			
Среди пегматоидных гранито-гнейсов gn ₆	2,1 (2,5)	12,0 (11,8)	5,7 (4,7)
Среди двуслюдяных гнейсов PR ₂₋₃	4,3 (4,1)	11,9 (11,3)	2,8 (2,8)
6. Визенбадский разлом			
Среди двуслюдяных гнейсов PR ₂₋₃	3,8 (3,6)	11,5 (10,9)	3,0 (3,0)
7. Мариенбергский разлом			
Среди двуслюдяных очково-волокнистых гранито-гнейсов gn ₃	10,5 (8,2)	9,5 (7,7)	0,9 (0,9)
Среди гнейсов PR ₂₋₃	3,7 (3,8)	12,5 (12,1)	3,4 (3,2)
8. Фляй-Ольбернхауский разлом			
Среди мигматитов gn ₁	4,4 (4,2)	9,5 (12,5)	2,2 (3,0)
9. Шеллерхауский разлом			
Среди гнейсов PR ₂₋₃	3,3 (4,1)	15,6 (9,2)	4,7 (2,2)
Среди гранитов Шеллерхау	15,1 (10,7)	57,5 (46,7)	3,8 (4,4)
Среди кварцевых порфиров Тарандова леса	8,7 (7,2)	31,2 (39,6)	5,5 (3,8)
10. Дипольдисвальдинский разлом			
Среди гнейсов PR ₂₋₃	3,6 (3,8)	12,7 (10,7)	3,5 (2,8)
Среди гнейсов PR ₂₋₃	4,4 (4,1)	11,6 (3,2)	2,6 (2,2)
Среди кварцитов PR ₂₋₃	0,3 (0,8)	1,0 (1,3)	3,7 (1,6)
Среди двуслюдяных и мусковитовых гранито-гнейсов gn ₄	3,1 (3,2)	10,7 (7,4)	3,4 (2,3)
11. Разлом на границе Рудных гор и Эльбтальских сланцевых гор			
Среди гнейсов PR ₂₋₃	5,1 (3,7)	11,7 (9,3)	2,3 (2,5)

Б. Тектонические зоны северо-восточного направления

12. Разлом северо-восточнее гор Альгенберга

Среди биотитовых гнейсов PR ₂₋₃	4,1 (3,8)	9,1 (9,0)	2,2 (2,4)
Среди двуслюдяных гнейсов PR ₂₋₃	4,2 (4,3)	9,9 (9,1)	2,4 (2,1)

13. Среднерудногорский разлом

Среди биотитовых гнейсов PR ₂₋₃	3,4 (4,6)	9,5 (10,0)	2,8 (2,2)
Среди гнейсов PR ₂₋₃	4,0 (4,7)	10,9 (10,4)	2,7 (2,2)

Тектонические нарушения	Содержание, г/т*		Th/U
	U	Th	
14. Разлом Вайсер-Хирш			
Среди двуслюдяных очково-волоконистых гранито-гнейсов gn_3	5,3 (5,3)	9,3 (9,3)	1,8 (1,8)
15. Херольд-Шварценбергский разлом			
Среди сланцев O_3-S-D	4,1 (3,5)	14,2 (10,4)	3,5 (3,0)
Среди двуслюдяных очковых гнейсов gn_2	4,8 (5,7)	10,7 (16,7)	2,2 (2,8)
16. Среднерудногорский разлом			
Среди филлитов O_1	3,3 (3,3)	16,1 (16,4)	4,9 (5,0)
17. Разлом по юго-восточной границе толщи O_3-S-D			
Среди филлитов O_1	3,5 (3,3)	16,1 (16,4)	4,9 (5,0)
18. Разлом по северо-западной границе толщи O_3-S-D			
Среди сланцев O_3-S-D	3,5 (3,2)	10,4 (15,0)	4,7 (3,0)
19. Разлом севернее гор Аннаберга			
Среди двуслюдяных плагиогнейсов PR_{2-3}	3,4 (3,2)	11,2 (9,7)	3,3 (3,0)
20. Разлом Продольный			
Среди гнейсов PR_{2-3}	3,8 (3,8)	8,9 (9,7)	2,3 (2,8)
Среди гнейсов PR_{2-2}	5,4 (4,4)	11,4 (11,5)	2,1 (2,6)
Среди равномернозернистых двуслюдяных мусковитовых гранито-гнейсов gn_4	5,1 (4,9)	12,0 (9,3)	2,4 (1,9)

В. Тектонические зоны меридионального направления

20. Файбергский разлом			
Среди гнейсов PR_{2-3}	5,9 (4,3)	11,4 (11,3)	2,3 (2,8)
Среди биотитовых гнейсов PR_{2-3}	5,1 (4,7)	10,3 (9,1)	2,0 (1,9)
21. Кольцевой разлом			
Среди гранитов Нидербобрич	7,7 (10,2)	10,2 (23,2)	1,3 (2,3)
Среди кварцевых порфиров	9,6 (8,2)	43,2 (31,2)	4,5 (3,8)

Примечание: в скобках радиоактивность за пределами зон тектонических нарушений (более 500 м в обе стороны от нарушений).

3. В связи с зонами нарушений не устанавливается какого-либо закономерного возникновения аномальных концентраций урана и тория.

Выявленные особенности распределения радиоактивных элементов в пределах зон тектонических нарушений позволяют сделать важный вывод: тектоническая (дизъюнктивная) деятельность на всех этапах её развития на территории Рудногорско-Пихтовогорского антиклинория (и, видимо, в других районах Саксо-Тюрингии) не оказывала сколько-нибудь заметного воздействия на первичное распределение урана и тория в горных породах и на формирование породных радиогеохимических аномалий.

3.2. Радиогеохимия магматических пород

Сравнительная оценка радиогеохимических особенностей магматических пород приводится в табл. 10, 13, 14 и на рис. 5, 6. Отчетливо видно, что по соотношению средних концентраций урана и тория и по значениям торий-уранового отношения отмечается существенная дифференциация пород.

Выделяется часть интрузивных массивов с повышенными в несколько раз по сравнению с кларком средними содержаниями урана и тория. По наиболее высоким содержаниям урана с коэффициентами концентрации 3–4,5 выделяются гранитные массивы Гайер-Эренфридерсдорф – 16,1 г/т, Шеллерхау – 15,2 г/т, Кирхберг – 12,0 г/т, Айбеншток, Берген – 10,1 г/т и др. Повышенным содержанием урана с коэффициентами концентрации 2–3 обладают массивы Кёнигштайн – 9,2 г/т, Нидербрич – 9,1 г/т, Ауэ-Шварценберг – 9,5 г/т и др. Наиболее ториеносны гранитоиды Гранулитовых гор – 73,3 г/т, что более чем в четыре раза выше кларка. Повышенными содержаниями тория 35–45 г/т выделяются гранитоидные массивы Шеллерхау, Альтенберг, Маркерсбах, Ризенштайн, гранитоиды и сиено-диориты Майсена с коэффициентами концентрации 2–2,5, а также массивы Кёнигштайн, Штольпен и Рула, в которых средние содержания тория составляют 23–30 г/т при коэффициенте концентрации 1,5–2. В остальных интрузивных массивах содержания тория ниже или близки к кларку. Наиболее низкие концентрации радиоактивных элементов в районе фиксируются в габбро, диабазах, габбро-диабазам, диоритах D_3-C_1 (табл. 10). Максимально контрастно интрузивные образования района классифицируются по значению торий-уранового отношения.

Таблица 13

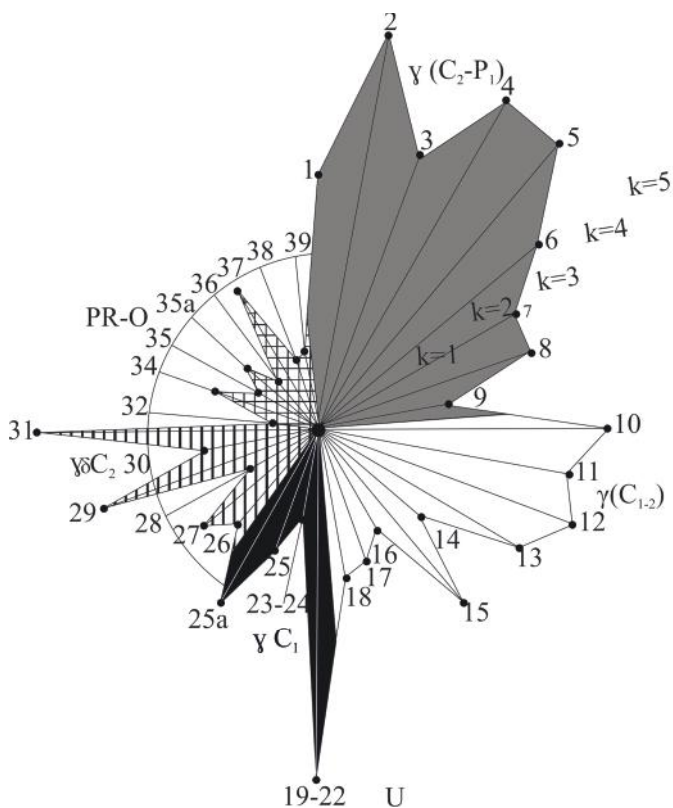
Уран и торий в магматических комплексах Саксо-Тюрингии, г/т

Магматические комплексы	U	Th	Th/U
В целом	5,8	17,3	3,0
В том числе:			
Неовулканический комплекс (KZ)	4,6	15,6	3,4
Варисский магматический комплекс – D–(C ₂ –P ₁)	6,8	20,5	3,0
В том числе:			
Позднескладчатый вулканоплутонический комплекс (C ₂ –P ₁)	9,0	25,3	2,8
Позднескладчатый плутонический комплекс (C _{1,2})	9,0	25,3	2,8
Раннескладчатый плутонический комплекс (C ₁)	8,1	33,5	4,1
Доскладчатый субвулканический комплекс	1,8	3,3	1,8
Каледонский магматический комплекс (PR–O)	2,9	10,7	3,7
Протерозойско-кембрийский магматический комплекс (PR ₂ –Є)	5,0	11,2	2,2
Протерозойский комплекс (PR ₂)	4,2	10,2	2,4

Таблица 14

Содержание урана и тория в жильных образованиях Саксо-Тюрингии, г/т

Жильные образования	U	Th	Th/U	Возраст
В целом	10,6	30,0	2,8	
В том числе:				
1. Тарандов лес, гранит-порфир (дайки)	13,1	43,5	3,3	C ₂ –P ₁
2. Теплицкая зона и Эльбтальские сланцевые горы	11,5	31,4	2,7	
В том числе:				
Лампрофиры (дайки)	14,0	54,0	4,5	C ₂ –P ₁
Гранит-порфиры (мелкие дайки)	19,0	44,8	2,4	C ₂ –P ₁
Кварцевые порфиры неизменные (мелкие дайки)	11,0	29,4	2,7	C ₂ –P ₁
Кварцевые порфиры измененные (мелкие дайки)	11,0	35,6	3,2	C ₂ –P ₁
Порфириты (мелкие дайки)	6,8	13,0	1,9	C ₂ –P ₁
3. Северо-Западная Саксония				
Перлитовые витрофиры (дайковые) среди Лайзниковских кварцевых порфиров	4,7	16,7	3,6	C ₂ –P ₁
4. Гарц	2,5	14,2	5,7	PR ₂ ¹
Жильные граниты (Хиффхойзерский выступ)				



Для основной части рассматриваемых разновидностей пород средние значения этого показателя составляют 2,5–3,5. Вместе с тем для части гранитных массивов отмечаются довольно резкие отклонения как в одну, так и в другую сторону. Наиболее высокие значения установлены в гранитах Розенштайна, в которых концентрация тория в 8,7 раз выше, чем концентрация урана в гранитоидах Гранулитовых гор – 5,3, Рула – 6,3, Шлейзенталь – 5,3, Штольпен – 5,6. Пониженное торий-урановое отношение фиксируется в гранитоидах Фихтельгебирге (Брамбах), Гайер-Эренфридерсдорф – 0,4, Аннаберг – 0,7, Берген – 0,8, Айбеншток – 1,1, Готтлойб – 1,1.

В литературе неоднократно отмечалось, что концентрация радиоактивных элементов в породах одного и того же района зависит от их геологического возраста. Рассматривая общий ход формирования радиогеохимического облика магматиче-

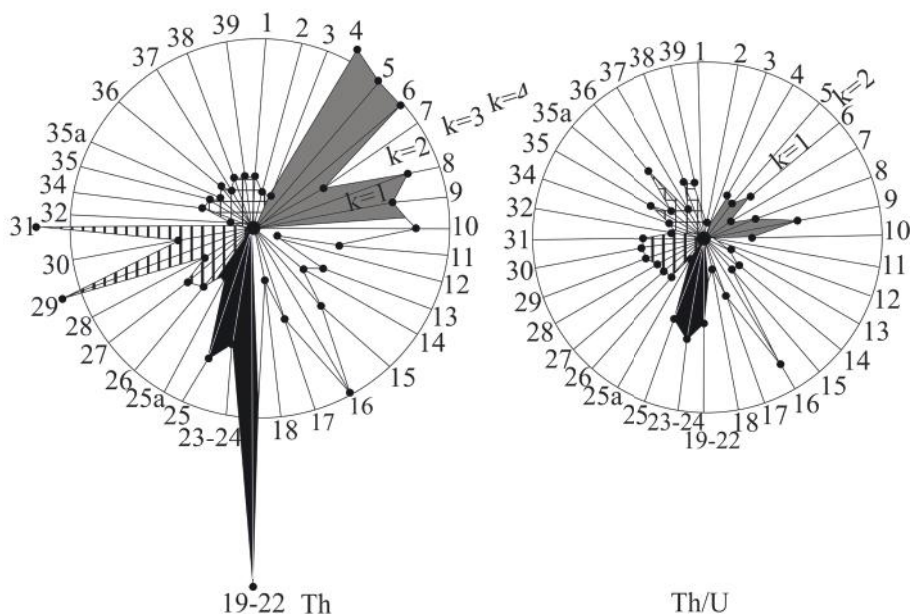


Рис. 6. Розы коэффициентов концентраций (K) U, Th и Th/U в интрузивных породах Саксо-Тюрингии

ских формаций в процессе развития складчатых областей, можно установить тенденцию к обогащению ураном и торием всё более молодых образований. Это отчетливо видно (особенно для урана) и на примере Саксо-Тюрингии (табл. 10, рис. 7). Наиболее низкими концентрациями урана и тория обладают гранитоиды протерозойского, протерозойско-кембрийского и каледонского возраста, к которым отнесены гранодиориты Лаузица, Дона, биотитовые граниты Румбурга и Айленбург-Шильдау. Средние содержания урана в них составляют 2,5–4,6 г/т, тория 9,3–10,4 г/т. Повышенное содержание урана 6,7 г/т установлено только в Румбургских (Хиршвальдских) биотитовых гранитах.

Более молодые варисские гранитоиды раннескладчатого плутонического комплекса раннего карбона представлены массивами Рула, Шлейзенталь, Готтлойб, а также массивами Гра-

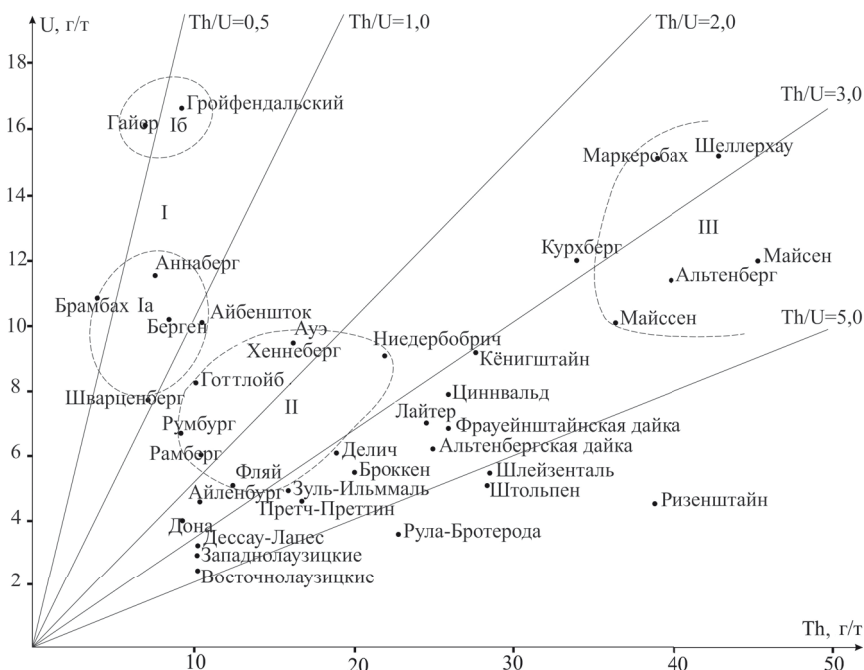


Рис. 7. Главные радиогеохимические типы гранитоидов Саксо-Тюрингии

нулитовых гор, Зуль-Ильмталь, Делич, Лаас, Майсен, Претч-Преттин. Средние концентрации урана в гранитоидах этого комплекса изменяются в пределах 3,2–12,9 г/т, тория 10,2–36,5 г/т (73,3 г/т в гранитоидах Гранулитовых гор).

Варисские граниты позднекладчатого плутонического комплекса ранне-позднекарбонического возраста выделяются ещё более повышенными средними концентрациями урана. Его содержания изменяются от 4,5 до 12,0 г/т, причем концентрация в так называемых горских гранитах (Кирхберг, Берген и др.) на 40 % выше, чем в остальных массивах этого комплекса (Фляй, Ниердербрич, Броккен, Рамберг и др.). Торий в гранитах ранне-позднекарбонического возраста распределен ещё менее равномерно: выделяются массивы как с пониженными – Берген – 8,6, Фихтельгебирге – 4,2, Рамберг – 11,6 г/т, так и с повышенными – Ризенштайн – 39,0, Кирхберг – 34,1, Ниердербрич – 22,1 г/т содержаниями тория.

Наиболее высокими концентрациями урана в районе характеризуются варисские гранитные массивы позднекладчатого вулканоплутонического комплекса пермско-каменноугольного

возраста, среди которых особенно выделяются рудногорские граниты. Для этого комплекса средние содержания урана колеблются от 5,1 до 16,1 г/т, для рудногорских соответственно 10,1 и 16,1. Среди рудногорских гранитоидов выделяются две группы гранитоидных массивов с резко неоднородным содержанием тория. В гранитах Шеллерхау, Альтенберг, Маркерсбах средние концентрации тория достигают 39–43 г/т, тогда как в гранитоидах Айбеншток, Гайер, Эренфридерсдорф, Аннаберг содержание тория составляет всего 7–11 г/т.

Многие исследователи отмечают, что в наиболее поздних магматических образованиях, возникающих при формировании той или иной интрузии, содержание радиоактивных элементов как правило выше, чем в первоначальных дериватах, и накопление урана к концу магматического процесса – одна из характерных черт его геохимии в магматическом процессе. Однако многие примеры убеждают в том, что при эволюции того или иного магматического расплава радиоактивные элементы не обладают однозначной тенденцией накопления в конечных дифференциатах. Поэтому не всегда правомерно рассматривать только молодые дериваты интрузий в качестве возможного источника эндогенного уранового оруденения. Эволюция магматических расплавов, первоначально имеющих одинаковый состав, может протекать по-разному в зависимости от геолого-геохимических и иных условий. Изучение особенностей поведения радиоактивных элементов в ходе дифференциации и кристаллизации магмы, а также в течение постмагматических процессов является важным при оценке металлогенической специализации магмы, отражающей её способность быть реальным источником рудообразования. Примерами отмеченных выше закономерностей распределения радиоактивных элементов в процессе формирования интрузий может служить распределение урана и тория в гранитах Айбенштокского (C_2-P_1), Бергенского (C_{1-2}) и Кирхбергского (C_{1-2}) массивов (табл. 15). Однако и здесь необходимо сделать одно существенное замечание. По геологическим соображениям гранитоиды Бергенского и Кирхбергского массивов отнесены к гранитам горского типа ранне-позднекарбонového возраста, а гранитоиды Айбенштока – к рудногорскому типу пермско-каменноугольного возраста. Но по своим радиогеохимическим параметрам гранитоиды Айбенштокского и Бергенского массивов очень близки между собой и резко отличаются от аналогичных пород Кирхбергского массива. Специфические и сходные распределения радиоактивных элементов в гранитах различных фаз Айбенштока и Бергена позволяют предположить,

**Уран и торий в интрузивных фазах Айбенштоцкого, Бергенского
и Кирхбергского гранитных массивов, г/т**

Фаза внедрения	Граниты	Айбенштоцкий массив			Бергенский массив			Кирхбергский массив		
		U	Th	Th/U	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U
Основная	Порфирировидные	10,1	12,1	1,2	10,8	11,5	1,1	7,9	25,6	3,2
1-я доп.	Среднезернистые	9,5	6,8	0,7	9,9	7,0	0,7	12,5	28,0	2,2
2-я доп.	Мелкозернистые	8,0	5,4	0,7	6,6	3,7	0,6	16,8	37,6	2,2

с одной стороны, генетическое родство обоих массивов, с другой — существование единого магматического очага, в котором процесс дифференциации магмы сопровождался обогащением остаточного расплава ураном и торием.

Распределение радиоактивных элементов в гранитах Кирхберга диаметрально противоположно. Кроме того, концентрация тория и значения торий-уранового отношения здесь в два раза выше, чем в породах вышеуказанных массивов. Таким образом наблюдается определенное несоответствие между геологической и радиогеохимической характеристиками Айбенштоцкого, Бергенского и Кирхбергского гранитных массивов.

Как известно, в Западных и Центральных Рудных горах, а также в Фогтланде выделяется группа гранитов, к которым приурочено гидротермальное урановое оруденение. В связи с этим представляется весьма важным дополнительное детальное изучение закономерностей распределения радиоактивных элементов в интрузивных породах района с выделением радиогеохимически специализированных магматических комплексов и интрузивных массивов. По своим радиогеохимическим особенностям все гранитоиды Саксо-Тюрингии можно объединить в три основных типа (рис. 7). К первому типу относятся преимущественно ураноносные, с малым содержанием тория и низкими значениями торий-уранового отношения (меньше единицы) граниты — массивы Айбеншток, Берген, Аннаберг, Шварценберг, Брамбах. Следует также заметить, что гранитоиды первого радиогеохимического типа имеют нарушенное первично-конституциональное (Айбенштоцкий массив) или близкое к нему (Бергенский, Шварценбергский массивы) распределение урана.

Ко второму типу – высокорadioактивные, с повышенным содержанием урана и тория, граниты – массивы Кирхберг, Ауэ, Нидербобрич, Рамберг, Фляй и др. К третьему типу – высокорadioактивные существенно ториеносные гранитные массивы – Шеллерхау, Альтенберг, Маркерсбах, Майсен, а также все гранитоиды в пределах Гранулитовых гор. Таким образом в распределении гранитов Саксо-Тюрингии устанавливается достаточно выраженная зональность: на фоне общей высокой ураноносности всех гранитных массивов их ториеносность со временем увеличивается. Однако необходимо заметить, что выявленная зональность в распределении ториеносности и других геохимических параметров в гранитоидах абсолютно не зависит от их установленного геологического возраста. Напротив, не исключено, что она может подчеркиваться геологическим возрастом. В этом случае, вероятно, следует еще раз дополнительно вернуться к оценке возрастной характеристики гранитных массивов территории.

Важная особенность гранитоидов – их активное влияние на изменение геохимического фона вмещающих осадочно-метаморфических толщ. Изменение геохимического фона в зависимости от положения по отношению к гранитным массивам характерно как в целом для какой-либо толщи, так и для отдельно взятых её литологических разностей (табл. 16, 17).

По данным табл. 16, гранитоиды Айбенштокского и Бергенского массивов оказывают достаточно существенное влияние на изменение концентраций радиоактивных элементов во вмещающих осадочно-метаморфических толщах. И наоборот, из табл. 17 следует, что никакого сколько-нибудь заметного геохимического влияния на вмещающие толщи гранитоиды Кирхбергского массива, являющегося представителем второго радиогеохимического типа, не оказывают. Отсутствие влияния на вмещающие осадочно-метаморфические породы установлено также со стороны гранитных массивов Нидербобрич и Майсен – представителей этого же радиогеохимического типа. Здесь уместно отметить, что все гранитоиды этого типа характеризуются нарушенным первично-конституциональным распределением радиоактивных элементов.

Общая закономерность для гранитоидов всех радиогеохимических типов – отсутствие какого-либо заметного влияния на них со стороны вмещающих осадочных и осадочно-метаморфических толщ. В пределах эндоконтактной зоны (500 м) средние концентрации радиоактивных элементов абсолютно идентичны с их концентрациями в целом по тому или иному гранитному массиву за пределами этой зоны. Так, например, среднее содер-

**Изменение геохимического фона радиоактивных элементов в осадочно-метаморфических породах
в зависимости от положения по отношению к гранитным массивам Берген и Кирхберг, г/т**

Породы	Зона контактовых изменений						За пределами внешней зоны контактовых изменений					
	Внутренняя			Внешняя			U	Th	Th/U	U	Th	Th/U
	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U						
1. Бергенский гранитный массив												
Фукоидная свита орловика нижний горизонт, фруктовые сланцы	5,1	18,7	3,7	4,5	17,5	3,9	4,3	17,1	4,0			
Фукоидная свита орловика верхний горизонт, в целом	5,7	19,3	3,4	5,4	17,2	3,2	5,2	16,7	3,2			
В том числе фруктовые сланцы	5,7	18,4	3,2	5,5	17,0	3,1	4,6	18,1	3,9			
2. Кирхбергский гранитный массив												
Фукоидная свита орловика нижний горизонт, в целом	4,8	19,0	3,9	4,8	18,7	3,9	4,9	19,3	3,9			
В том числе:												
слоистые сланцы	3,7	18,3	4,9	4,1	18,3	4,5	5,2	18,8	3,6			
пятнистые сланцы	5,5	19,3	3,5	4,6	23,6	5,1	5,9	16,7	2,8			
кварциты	4,2	19,1	4,5	4,5	13,7	3,0	4,3	17,1	4,0			
Фукоидная свита орловика верхний горизонт, в целом	4,2	17,1	4,1	3,6	19,2	5,3	4,0	17,4	4,3			
В том числе:												
слоистые сланцы	3,8	15,1	4,0	4,1	20,3	5,0	4,7	17,8	3,8			
пятнистые сланцы	4,3	19,3	4,5	4,1			4,1	19,3	4,7			
кварциты	3,6	19,0	5,3	4,1			4,7	17,8	3,8			

**Вариации геохимического фона радиоактивных элементов
в осадочно-метаморфических породах в зависимости от положения
по отношению к гранитному массиву Айбеншток, г/т**

Породы	Расстояние от массива											
	до 10 км					от 10 до 30 км					более 30 км	
	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U	U	Th	Th/U
1. Отложения херольд-теллерхойзерской серии кембрия (в целом) В том числе: филлиты слоистые сланцы	4,8	17,5	3,6	2,7	11,0	4,1	2,8	12,6	4,5			
2. Отложения яхимовской свиты кембрия (в целом) В том числе: филлиты слоистые сланцы	3,7	18,5	5,0	3,2	14,5	4,5	2,9	13,0	4,5			
3. Отложения фукоидной серии ордовика (в целом) В том числе: филлиты слоистые сланцы	5,1	14,6	2,9	4,1	14,0	3,4	2,4	11,5	4,8			
4. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	3,9	14,4	3,7	3,6	13,2	3,7	3,0	12,7	4,2			
5. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	3,1	14,7	4,7	3,1	11,7	3,8	3,1	13,9	4,5			
6. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	3,6	15,7	4,4	3,5	11,3	3,8	3,3	16,2	4,9			
7. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	5,2	18,4	3,5	3,0	15,1	5,0	3,3	16,4	4,1			
8. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	5,3	19,0	3,6	3,3	17,7	5,4	4,1	17,0	5,0			
9. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	5,2	17,7	3,4	2,9	17,5	6,0						
10. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	6,3	15,6	2,5	4,1	16,2	4,0						
11. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	4,5	16,3	3,6	3,7	15,7	4,2						
12. Отложения фраунбахской свиты ордовика (в целом) В том числе: филлиты кварц-хлорит-серицитовые сланцы	6,5	15,3	2,4	5,3	7,7	3,3						

жание урана в эндоконтактовой зоне гранитов Айбенштокского массива составляет (в г/т): 9,9 (среднее по массиву – 10,1), тория – 9,9 (10,7), торий-урановое отношение 1,0 (1,1). В том числе среднее содержание урана на контакте с отложениями фукоидной серии ордовика в Рудных горах 10,9, в Фогтланде – 10,0 г/т; с отложениями херольд-теллерхойзерской серии кембрия в Рудных горах – 11,6 г/т и т. д. Результаты изучения распределения радиоактивных элементов в зонах тектонических нарушений в полосе обрамления этих нарушений (500 м в обе стороны), секущих гранитоидные массивы различных радиогеохимических типов показывают, что так же, как и в осадочно-метаморфических толщах, здесь отсутствуют какие-либо существенные изменения концентрации этих элементов внутри тектонических зон по сравнению с их средними концентрациями в целом по тому или иному гранитному массиву. Не устанавливается заметных изменений средних содержаний радиоактивных элементов в зависимости от ориентировки зон тектонических нарушений. В зонах северо-западного, северо-восточного, меридионального направлений средние концентрации радиоактивных элементов примерно одинаковы и идентичны средним значениям по массиву (табл. 18).

Распределение урана и тория в жильных породах представлено в табл. 14.

Таблица 18

Уран и торий в тектонитах разрывных нарушений, секущих Айбенштокский, Бергенский и Кирхбергский гранитные массивы

Гранитные массивы	Среднее содержание, г/т		Th/U
	U	Th	
1. Айбенштокский массив, в целом	10,1	10,7	1,1
Зоны направлений: северо-западного	8,7	11,9	1,4
северо-восточного	10,0	10,7	1,1
меридионального	9,4	9,7	1,0
2. Бергенский массив, в целом	10,1	8,4	0,8
Зоны направлений: северо-западного	9,9	8,8	0,9
меридионального	8,6	8,0	0,9
3. Кирхбергский массив, в целом	12,0	34,1	2,8
Зоны направлений: северо-западного	11,6	32,8	2,8
северо-восточного	11,9	32,4	2,7
меридионального	9,4	30,5	3,2

Уран и торий в вулканогенных породах Саксо-Тюрингии

Породы	Среднее содержание, г/т		Th/U
	U	Th	
Риолитовые порфиры и их туфы (покровные и экструзивные образования) – λP_1	5,8	23,9	4,1
Порфириты и мелафиры (трахиандезито-дацитового состава), лавы, пирокластиты – λP_1	4,4	13,5	3,1
Риолитовые игнимбриты, богатые пироксеном трахидациты (покровы) – $\tau\lambda(C_2-P_1)$	5,3	23,4	4,4
Игнимбриты риолитовые, трахириолитовые, трахириолитовые порфиры и их туфы (покровы) – $\lambda(C_2-P_1)$	6,2	26,0	4,2
Трахириолитовые и трахидацитовые порфиры, их лавобрекчии (покровы, экструзии, реже – жерловые фации) – $\tau(C_2-P_1)$	4,9	22,1	4,5
Андезитовые, трахиандезитовые порфириты и их туфы (покровы, силы) – $\alpha(C_2-P_1)$	5,3	18,1	3,4
Среднее	5,6	23,1	4,1
В том числе:			
Вулканиты P_1	5,6	22,5	4,0
Вулканиты (C_2-P_1)	5,6	23,5	4,2

Исключительным однообразием и радиогеохимической однородностью в распределении радиоактивных элементов в Саксо-Тюрингии характеризуются вулканогенные образования (табл. 5, 19). Среднее содержание урана (9000 проб) составляет 5,6 г/т, что соответствует содержанию урана в аналогичных типах пород, развитых в других регионах. Колебания средних значений урана для отдельных разновидностей вулканогенных пород незначительны и изменяются от 4,4 г/т в порфиритах и мелафирах до 6,2 г/т в риолитовых и трахириолитовых игнимбритах. Несколько повышенными концентрациями выделяются отдельные разновидности пород в районе Теплицкой зоны, Тарандова леса, Рудногорско-Фогтландской синклинали (г. Флёа, г. Хемниц). Здесь в риолитовых и кварцевых порфирах, риолитовых и трахириолитовых игнимбритах, туфах различного состава среднее содержание урана достигает 7,5–10,9 г/т. Ещё более стабильны в вулканогенных породах концентрации тория и значения торий-уранового отношения. Среднее содержание тория составляет (в г/т): 32,1 при колебаниях средних от 13,5

в порфиридах и мелафирах до 26,0 в игнимбридах; среднее значение торий-уранового отношения 4,1 при колебаниях 3,1–4,4. Стабильность и однородность в распределении радиоактивных элементов в вулканогенных породах Саксо-Тюрингии отражают коэффициенты вариации содержаний радиоактивных элементов. Для урана коэффициент вариации равен 25–40 %, для тория 15–30 %.

Приведенные на основе обработки и обобщения собранного в течение многих лет большого фактического материала данные по радиогеохимическим особенностям различных горных пород Саксо-Тюрингии позволяют сделать ряд выводов о закономерностях распределения радиоактивных элементов и поведении их в ходе геологической истории региона:

- аномально повышенные концентрации урана и тория среди магматических пород характерны для гранитоидов карбонового и пермско-каменноугольного возраста, а среди осадочных пород – черных сланцев силура и медистых сланцев цехштейна (P_2);

- среди осадочных пород наиболее высокие первичные содержания урана и тория свойственны терригенным осадкам. Прослеживается четкая зависимость в распределении концентраций радиоактивных элементов в зависимости от геотектонических условий формирования в земной коре. Среднее содержание урана и тория в осадочных отложениях геосинклинальной стадии развития существенно выше, чем в осадках платформенного чехла. Для отложений геосинклинального этапа характерно увеличение концентрации урана от начальной к средней и поздней стадиям. Максимальные концентрации урана устанавливаются в геологических образованиях пермско-каменноугольного и пермского возраста. Для платформенных отложений распределение концентраций урана и тория не зависит от возраста и равномерно по всему разрезу. Среди геолого-структурных комплексов повышенными концентрациями урана и тория (без учета сланцев и известняков силурийского возраста) выделяются отложения Дёленской мульды, Рудных гор, Носсен-Вильсдруфских гор, Роннебургского рудного поля. В девонское время отмечается наиболее интенсивная проработка геологических образований, разрушение минералогеохимических ассоциаций и перераспределение радиоактивных элементов. Для всех остальных пород девонского возраста устанавливается обеднение их радиоактивными элементами и понижение торий-уранового отношения;

- в стратиграфическом разрезе устанавливается определенная периодичность распределения урана и, в меньшей степени,

тория. Выделяются две эпохи максимального сингенетического накопления урана в осадках: силурийская (углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые сланцы) и пермско-каменноугольная – пермская (медистые сланцы цехштейна). По своим радиогеохимическим параметрам черные сланцы Саксо-Тюрингии практически не отличаются от аналогичных образований, распространенных в других регионах земного шара: средняя концентрация урана составляет 17,8, а тория – 5,6 г/т, торий-урановое отношение – 0,3. Концентрация радиоактивных элементов в углеродисто-глинистых сланцах выше, чем в углеродисто-кремнистых. В центральной части Саксо-Тюрингии выделяется полоса северо-восточного направления, включающая в себя Восточно-Тюрингское поднятие, район Роннебургского рудного поля, Шмёльнский грабен с относительно пониженными (15–17 г/т) концентрациями урана. В обрамлении этой полосы в черных сланцах фиксируются повышенные концентрации урана, определяющие элементы региональной радиогеохимической зональности;

– в соответствии с рассчитанными показателями распределения урана и тория в метаморфических породах установлено, что по мере увеличения степени метаморфизма содержание радиоактивных элементов постепенно уменьшается и достигает минимума в образованиях гранулитовой фации. Отмечается увеличение концентраций урана и тория в продуктах гранитизации. Существенная мобилизация радиоактивных элементов происходит под воздействием наложенных постмагматических процессов (нарушается первично-конституциональное распределение, происходит их привнос-вынос и т. п.);

– выявлены радиогеохимические особенности магматических пород. Отмечена четкая тенденция к обогащению ураном и торием более молодых гранитоидных массивов. Повышенными концентрациями радиоактивных элементов выделяются варисские гранитные массивы Гайер-Эренфридерсдорф, Кирхберг, Айбеншток, Берген и др. Установлено также, что при эволюции магматического расплава радиоактивные элементы не проявляют однозначную тенденцию к накоплению в конечных дифференциатах. Обогащение ураном и торием может происходить как в поздних, так и начальных дериватах магматических образований. Выделяются три основных радиогеохимических типа гранитоидов. Выявлена геохимическая зональность распределения в них тория. Установлено интенсивное влияние гранитоидов первого радиогеохимического типа на изменение концентраций радиоактивных элементов во вмещающих осадочно-метаморфических толщах и отсутствие подобного вли-

яния со стороны остальных радиогеохимических типов гранитоидов. Только гранитоиды первого радиогеохимического типа имеют нарушенное первично-конституциональное распределение урана. Вулканогенные образования по распределению радиоактивных элементов характеризуются на всей территории исследования исключительным однообразием и радиогеохимической однородностью;

– тектонические (дизъюнктивная тектоника) процессы не оказывают заметного воздействия на формирование геохимического фона и аномальных концентраций радиоактивных элементов, а также на существенную мобилизацию в горных породах территории (осадочных, метаморфических, магматических).

Приведенный материал дает возможность провести радиогеохимическое районирование территории.

3.3. Радиогеохимическое районирование

По степени неоднородности распределения радиоактивных элементов на территории Саксо-Тюрингии можно выделить две группы радиогеохимических провинций – недифференцированные (слабодифференцированные) и дифференцированные. Подавляющее большинство из них составляют первые. Их радиогеохимические параметры представлены на рисунке (рис. 3) и в таблицах. Наибольший практический интерес представляют собой радиогеохимически дифференцированные провинции, характеристика которых приводится в разделе в соответствии с принятой геолого-структурной градацией.

Нижний структурный этаж (PR). Радиогеохимически дифференцированная провинция среди отложений нижнего структурного этажа выделяется в пределах толщи филлитов, сланцев и кварцитов Северо-Западной Саксонии (севернее г. Торгау) и за её пределами. Отложения сланцевой толщи (сланцы кристаллические, слюдистые, глинистые) района Претч-Преттин, метаморфизованные на уровне фации зеленых сланцев, хотя и не обладают аномально повышенными концентрациями урана, тем не менее отличаются заметной степенью разброса его значений. Средние содержания урана для различных пород составляют от 1,8–2,0 в глинистых сланцах и до 3,6 г/т в слюдистых. Торий-урановое отношение, также оставаясь в среднем в пределах нормы, имеет заметные вариации от 1,7 до 4,8–5,1. Наиболее явным показателем дифференцированности являются значения коэффициента вариации, характеризующие

неравномерность распределения радиоактивных элементов. Для глинистых сланцев коэффициент вариации урана составляет 53–62 %, для кристаллических сланцев – 64,5 %. Ещё в большей степени его колебания отмечены для тория (28–84 %).

Средний каледоно-варисский структурный этаж (Є–P₁). В пределах каледонского подэтажа (Є–O) среди отложений ордовикского возраста в качестве радиогеохимически интенсивно дифференцированных провинций выделяются площади развития кварцитов, глинистых сланцев и филлитов грэфентальской серии, распространенных в Рудногорско-Фогтландской синклинали, и глинистых сланцев Роннебургского рудного поля. Эти отложения характеризуются заметной неоднородностью и неравномерностью в распределении радиоактивных элементов и повышенными по отношению к кларку концентрациями урана. Среднее содержание урана изменяется в них от 3,2 до 4,1 г/т, тория 8,3–17,2 г/т, торий-урановое отношение в пределах 1,5–5,2. Коэффициент вариации до 73,5 %.

К радиогеохимически дифференцированной провинции можно отнести также отложения кембрийского возраста Доберлугской синклинальной зоны. Анализ полученных в целом данных прежде всего устанавливает высокую степень её радиогеохимической неоднородности. Средние содержания урана и тория по отдельным литологическим разностям изменяются от 2,0 до 4,2 г/т урана и 2,0–14,0 г/т тория. Торий-урановое отношение 0,5–7,0. Коэффициент вариации – урана до 80 %, тория – до 118 %.

В пределах нижнего структурного яруса (S–D₁₋₂) варисского подэтажа (S–P₁) практически все отложения силурийского возраста Саксо-Тюрингии (за исключением квасцовых сланцев Флехтингена и Эльбталских сланцевых гор) выделяются в единую радиогеохимически интенсивно дифференцированную провинцию. Параметры распределения радиоактивных элементов в черных сланцах этой толщи на всей территории приведены в табл. 6. Для известняков толщи характерны концентрации урана в несколько раз ниже, чем в сланцах, однако они значительно выше кларков, установленных для этого литотипа пород. Концентрации тория сопоставимы с его концентрациями в сланцах. Колебания средних содержаний составляют в известняках: урана 1,9–5,3 г/т, тория 4,0–7,2 г/т, торий-урановое отношение изменяется от 1,1 до 2,6 при коэффициенте вариации 100 %. В целом отложения этой толщи характеризуются резко аномальными концентрациями урана, неоднородным и неравномерным его распределением, повышенными значениями коэффициента вариации и резко изменяющимся торий-урановым

отношением. В пределах геохимически интенсивно дифференцированной провинции глинистые сланцы, известняки, песчаники ранне-среднедевонского возраста, развитые в районе массивов Берген-Кирхберг и на юго-восточном крыле главной Фогтландской синклинали, имеют резко неравномерное распределение урана (средние концентрации 1,8–3,7 г/т, коэффициент вариации 60–72 %) и торий-урановое отношение 3,1–4,7. Содержание тория изменяется от 6,4 до 12,7 г/т.

Среди отложений среднего структурного яруса (D_3-C_1) радиогеохимически интенсивной дифференцированностью выделяются глинистые сланцы юго-восточного обрамления Гранулитовых гор (D_1), известняки Носсен-Вильсдруфских гор (D_3-C_1), песчаники, сланцы, конгломераты юго-восточного крыла Главной Фогтландской синклинали (D_3), конгломераты и глинистые сланцы Эльбтальских сланцевых гор (C_1). В этих отложениях происходит некоторое увеличение концентрации урана – 1,9–5,8 г/т и уменьшение тория – 3,2–14,1 г/т. Однако наиболее характерная особенность для них – резко неоднородное и неравномерное распределение радиоактивных элементов. Коэффициент вариации урана достигает здесь 75 %, торий-урановое отношение изменяется от 0,8 до 6,7. Исключительно низкой радиоактивностью по сравнению с другими породами района обладают все диабазы позднедевонского возраста, однако в пределах юго-восточного крыла Главной Фогтландской синклинали, Роннебургского рудного поля, Носсен-Вильсдруфских сланцевых гор при средних концентрациях урана 1,1–3,2 и тория 2,1–3,2 г/т их распределение резко неравномерное: коэффициент вариации содержаний урана изменяется в пределах 60–90 %, тория 50–64 %; торий-урановое отношение в пределах 0,7–2,3.

В составе верхнего структурного яруса (C_2-P_1) радиогеохимически дифференцированная толща песчаников, конгломератов, алевролитов и сланцеватых глин позднекарбонного возраста развита к северо-западу от г. Лейпцига (участки Шенкенберг и Брена). Средние содержания урана в них изменяются в пределах 4,0–6,1, тория – 12,2–18,0 г/т, коэффициент вариации 43–53 %. В этом же районе радиогеохимически дифференцированы (иногда интенсивно) породы развитого здесь дайкового комплекса (гранит-порфиры, трахириолиты, монцитониты и др.). Концентрации радиоактивных элементов в них составляют: гранит-порфиры – уран 5,7 г/т, торий 22,1 г/т, торий-урановое отношение 3,9; трахириолиты – соответственно 9,8 г/т, 27,4 г/т, 2,8; монцитониты – уран 10,2 г/т. Коэффициенты вариации радиоактивных элементов в породах дайкового комплекса изме-

няются в пределах 38–68 %. В отдельную радиогеохимически дифференцированную провинцию среди отложений красного лежня (P_1) выделяются песчаники, конгломераты и глинистые сланцы Мюгельнской мульды. Эти отложения отличаются неравномерным и неоднородным распределением урана. Его средние содержания колеблются в интервале 3,0–6,3 г/т и превышают кларковый уровень. Концентрация тория изменяется от 13,6 до 20,0 г/т. Коэффициент вариации 40–66 %.

Верхний структурный платформенный этаж (P_2-K_2). Нижний структурный ярус (P_2-J_1). В качестве радиогеохимически дифференцированной провинции выделяются песчаники, алевролиты, глины, ангидриты Мюгельнской мульды. Эти отложения характеризуются неоднородным и неравномерным повышенным по сравнению с кларком содержанием урана. Его средние концентрации изменяются от 2,8 до 5,9 г/т, тория 3,5–16,4 г/т, торий-урановое отношение 1,2–4,8. Коэффициент вариации 34–63 %. К радиогеохимически интенсивно дифференцированной провинции относятся также сланцы, песчаники, глины, конгломераты, ангидриты и гипсы Роннебургского рудного поля, его дальних флангов и Шмёльнского грабена. Здесь в этих породах ещё более увеличивается неоднородность и неравномерность в распределении радиоактивных элементов. Среднее содержание урана в них изменяется в пределах 1,8–6,1 до 13,2 г/т, тория 3,1–12,2 до 17,3 г/т, торий-урановое отношение 1,7–6,3. Коэффициенты вариации достигают значений 50–89 %. Особое положение среди отложений цехштейна занимают медистые сланцы, повсеместно выделяясь аномально повышенными содержаниями урана и его неоднородным и неравномерным распределением. Средние концентрации урана, рассчитанные для различных участков, составляют от 13,0–17,0 до 45,2 г/т, что в несколько раз превышает кларковый уровень. Концентрация тория 6,3–9,5 г/т, торий-урановое отношение 0,2–1,0.

Верхний структурный ярус (K_1-K_2). Здесь к радиогеохимически интенсивно дифференцированным относятся песчаники, глины, алевролиты, аргиллиты, конгломераты позднемелового возраста Эльбтальского грабена. Эти отложения характеризуются повышенными концентрациями урана и тория, их неоднородным и неравномерным распределением при пониженном торий-урановом отношении. Коэффициенты вариации для подавляющего большинства литологических разновидностей достигают значений, превышающих 60 %. Колебания содержаний радиоактивных элементов для горных пород района составляют: уран 1,9–9,5 г/т, торий 5,9–25,4 г/т.

Среди изверженных пород Саксо-Тюрингии дифференцированным распределением урана и тория отличаются гранитоиды первого радиогеохимического типа в пределах Рудных гор, мусковитовые ортогнейсы Центральных Рудных гор и фонолиты Лаузица.

Таким образом, анализ геохимического фона радиоактивных элементов, степени неоднородности и неравномерности распределения радиоактивных элементов в горных породах Саксо-Тюрингии показал, что при подавляющем развитии радиогеохимически недифференцированных и слабодифференцированных устанавливаются также геохимически дифференцированные и интенсивно дифференцированные радиогеохимические провинции. Они фиксируются в пределах всех геолого-структурных этажей независимо от возраста, структурного положения и состава. Наибольшей радиогеохимической дифференцированностью отличаются отложения Роннебургского рудного поля и его дальних флангов, Эльбтальского грабена, Фогтланда, Рудных гор, Носсен-Вильсдруфских гор и некоторых других участков.

Внутри радиогеохимически дифференцированных провинций выделяются радиогеохимически аномальные зоны, в пределах которых наиболее интенсивно проявились процессы уранового рудогенеза:

– В пределах Горского выступа и Шмёльнского грабена – урановорудные месторождения Роннебургского рудного поля в отложениях геосинклинального этажа, месторождения Кульмич и Зорге в отложениях платформенного этажа, а также значительное количество рудопроявлений и точек минерализации.

– В пределах Эльбтальского прогиба – урановорудные месторождения Кёнигштайн, Пирна, рудопроявления Розенталь, Фуксбах, Тюрмсдорф, Хинтерхермсдорф, Лейтеритц, а также большое число точек минерализации.

– В Северо-Западной Саксонии к западу, северо-западу и северу от Лейпцига в пределах радиогеохимически аномальной зоны – урановорудные месторождения Кина, Шенкенберг и ряд радиоактивных аномалий.

– В пределах Носсен-Вильсдруфских сланцевых гор в связи с отложениями силурийского и девонского возраста обнаружено рудопроявление Россвайх и очень большое количество радиоактивных аномалий.

– В осадочных отложениях пермского возраста Мюгельнской мульды (красный лежень и цехштейн) выявлено много радиоактивных аномалий. Характерная особенность этих отложений – значительное смещение радиоактивного равновесия в сторону урана.

– В ордовикских, силурийских и девонских отложениях Фогтланда – урановорудные месторождения Цобес, Берген, Хауптманнсгрюн, рудопроявления Лоттенгрюн, Лаутербах, Верда, Дрёда и мн. др., а также значительное количество радиоактивных аномалий.

– На площади Рудных гор в нерасчлененных отложениях продуктивной толщи O_3-S-D_{1-2} Западных Рудных гор установлены урановорудные месторождения Шлема-Альберода, Шнеберг, рудопроявления Дорфхемниц, Альберода, Лёснитц, Диттерсдорф, Новая Альберода, Лихтенау и др., а также обнаружено большое количество радиоактивных аномалий; в мусковитовых гранито-гнейсах (ортогнейсах) протерозойско-кембрийского возраста Центральных Рудных гор – месторождения Мариенберг, Аннаберг, Беренштейн-Обервизенталь, Нидершлах, рудопроявления Хезельбах, Лечefeld, Нойдорф и др., а также значительное количество радиоактивных аномалий; в отложениях нижнего палеозоя Восточных Рудных гор – урановое рудопроявление Вермбах и радиоактивные аномалии.

Во всех дифференцированных радиогеохимических породах отмечается миграция различных рудных элементов.

3.4. Геохимические особенности ураноносных черных сланцев

Помимо радиоактивных элементов ураноносные черные сланцы Роннебургского рудного поля характеризуются содержанием широкого спектра микроэлементов, отличающихся уровнем распространения. Так, пониженными средними содержаниями отличаются Mn, Pb, Ni, Ni, Ge; напротив, Cr, V, Zr, Cu, As, Ag, Be, Sn обнаруживают повышенные концентрации (табл. 20).

Сравнительный анализ изменчивости распределения концентраций радиоактивных и других элементов показывает, что черные сланцы ураноносных площадей характеризуются повышенными значениями коэффициентов вариации содержаний As, Cu, Pb, Ni, Ti, U и некоторых других (табл. 20).

Установлено, что ураноносные черные сланцы Роннебургского рудного поля и других ураноносных площадей выделяются среди горизонтов продуктивной толщи наиболее широким спектром микроэлементов с максимально высокими (60 % и более) значениями коэффициентов вариации, существенно превосходя по этому параметру черные сланцы безрудных районов (не выше 40 %).

**Параметры распределения урана и сопутствующих микроэлементов
в ураноносных черных сланцах Роннебургского рудного поля
и северо-западного обрамления Гранулитовых гор, %**

Элемент	Роннебургское рудное поле		Северо-западное обрамление Гранулитовых гор	
	\bar{x}	V%	\bar{x}	V%
Хром	300	37	100	45
Ванадий	1000	75	400	55
Цирконий	300	250	140	60
Медь	170	85	100	45
Бериллий	3	110	2	25
Мышьяк	60	220	40	60
Серебро	3	150	2	72
Олово	8	75	6	20
Барий	500	170	600	60
Стронций	210	200	250	45
Кобальт	20	45	25	45
Молибден	30	100	40	95
Титан	2500	200	3500	45
Никель	250	160	400	60
Свинец	30	103	50	45
Цинк	120	53	200	73
Марганец	100	45	200	110
Уран	11,5	60	30	25
Торий	3,5	92	8	

Сравнительный анализ ассоциативности радиоактивных элементов, и главным образом урана, показывает, что в черных сланцах безрудных площадей они, как правило, демонстрируют гораздо более широкий набор связей, чем в ураноносных черных сланцах урановорудных районов [Кушнеренко, Русецкий, 1975] (табл. 21). Это прежде всего давно известные [Бейтс, Строл, 1959] положительные связи урана с органическим углеродом ($C_{орг.}$) и сульфидной серой ($S_{сульф.}$), позволяющие предполагать, что основным концентратором урана в черных сланцах являются, скорее всего, тиокериты. Помимо указанных, значимые положительные связи уран в черных сланцах безрудных площадей обнаруживает с целым рядом микроэлементов: с Mo, Ni, V, Cr, Pb, Zn, Ba и As; напротив, с Ti уран коррелируется

**Оценка парных коэффициентов корреляции урана и сопутствующих элементов
в ураноносных черных сланцах Роннебургского рудного поля
и северо-западного обрамления Гранулитовых гор**

Элемент	Роннебургское рудное поле	Северо-западное обрамление Гранулитовых гор
Молибден	0,21	0,53
Никель	0,25	0,39
Ванадий	0,23	0,38
Медь	0,3	0,30
Хром	0,18	0,26
Свинец	0,18	0,25
Цинк	–	0,22
Барий	0,19	0,22
Мышьяк	–	0,18
Кобальт	–	–
Титан	–	0,31

отрицательно. В ураноносных черных сланцах Роннебургского рудного поля связи урана значительно ослабевают или даже вообще исчезают, как например с $C_{орг.}$, $S_{сульф.}$, Ti, As и Zn. Можно также отметить, что если через весь осадочный разрез продуктивной черносланцевой толщи безрудных площадей устойчиво проходят некоторые (вероятно, сингенетичные связи), например, U–Mo, U–Ni, то продуктивная толща Роннебургского рудного поля таких сквозных связей лишена.

Важно подчеркнуть, что под воздействием комплекса рудоподготовительных и рудоформирующих эпигенетических процессов характер сингенетичного распределения урана и ассоциирующих с ним элементов существенно меняется. Многочисленными исследованиями было показано, что дифференциальные кривые распределения урана в черных сланцах известных урановорудных полей имеют полимодальный характер [Кушнеренко, 1982] в связи с многообразием форм концентрации этого элемента при наложении эпигенетических процессов.

На основании проведенного сопоставления можно сделать вывод, что в составе продуктивной толщи ураноносные черные сланцы являются наиболее чувствительным индикатором площадных процессов перераспределения урана и сопутствующих ему микроэлементов при формировании промышленного уранового оруденения как роннебургского, так и рудногорского типов.

Касаясь химической природы этих процессов, необходимо отметить довольно активное поведение в них титана, циркония, тория и других малоподвижных в зоне гипергенеза элементов, что может свидетельствовать в пользу более высокоградиентных значений давления, вероятнее всего, метаморфогенных: дислокационно-метаморфических для роннебургского типа и контактово-метаморфических для рудногорского типа.

Процессы дислокационного метаморфизма отчетливо фиксируются в пределах Роннебургского рудного поля на участках локального тектонобластеза продуктивной толщи, наиболее активно развиваясь в пачке тонкого переслаивания углеродисто-кремнистых и углеродисто-глинистых сланцев нижней части разреза. Здесь на контактах слоёв с различными физико-химическими свойствами в обстановке сжатия, с межслоевым скольжением и межгранулярными подвижками, сопровождавшимися повышением температуры и активизацией поровых и дегидратационных растворов, происходила мобилизация и перераспределение петрогенных компонентов и связанного с ними урана и других микроэлементов с формированием убогого настуранового оруденения и сопутствующих ему сульфидов – пирита, халькопирита и сфалерита. Субмикроскопические выделения настурана приурочены к замковым частям микроскладок, распределены вдоль слоистости и по границам пропластков разного состава, а также выполняют пересекающиеся микропрожилки в обломках углеродистого вещества. Участки пород с оруденением характеризуются новообразованиями шестоватого кварца, мусковита с двойниками скольжения, роскоэлита, апатита и барита.

Убогое метаморфогенное оруденение обладает рядом характерных геохимических особенностей. Одной из них является повышенное содержание таких элементов, как Zr, Вe и Sn, в меньшей мере Th и TR, не характерных для органогенного геохимического парагенезиса черных сланцев. Что касается структуры связей урана, то она очень сходна с таковой в ураноносных черных сланцах Роннебургского рудного поля, что говорит об исключительном преобладании только одного метаморфогенного фактора – концентрирования урана без резкой деформации первично-конституциональной ассоциативности. Однако к сохранившимся положительным связям добавляются дополнительно связи U–Mn и U–Zr, а связь U–V становится отрицательной.

Формирование уранового оруденения рудногорского типа в пределах Саксо-Тюрингии связано, по всей видимости, с плутоногенным этапом перераспределения урана, обязанным вне-

дрению и становлению геохимически специализированных на уран гранитных массивов рудногорского комплекса. Исследованиями Н. П. Ермолаева [1976] показано, что при контактовом метаморфизме черных сланцев происходит вынос $C_{орг.}$, U и V и некоторых других элементов из внутренней (кордиеритовой) зоны экзоконтакта с переотложением некоторой их части во внешних зонах — биотитовой и пятнистых роговиковых сланцев. При этом количество перемещенного из внутренней зоны урана оценивается не менее 20–25 %, достигая в отдельных случаях до 65–75 %, в связи с чем содержание урана во внешней зоне экзоконтакта возрастает в два и более раза.

Установлено также, что в контактово-метаморфогенных черных сланцах углеродистое вещество частично выгорает, а связи $C_{орг.}$ с ураном и другими микроэлементами нарушаются. Образующаяся при выгорании органического вещества углекислота вместе с освобождаемой при нагревании водой создавали благоприятную среду для транспортировки целого ряда микроэлементов, до этого накопленных в органическом веществе, и прежде всего урана. Нарушение связей с органическим веществом (нетипичное для дислокационного метаморфизма) способствовало переходу урана в легкорастворимую подвижную форму. Экспериментальные исследования показали, что выщелачиваемость урана водным раствором из испытанных сильный (до 400 °С) прогрев черных сланцев в 10 раз выше, чем в исходных породах [Юдович, Кетрис, 1988]. Можно со всем основанием предполагать, что значительная часть урана, потерявшего связь с $C_{орг.}$, могла отлагаться в трещинных структурах, хрупких за счёт ороговикования пород продуктивной толщи, в зоне экзоконтакта с формированием прожилково-жильного уранового оруденения. Урановая минерализация обычно представлена настураном в ассоциации с давидитом и сульфидами железа, молибдена, меди и цинка, а также доломитом, кальцитом, хлоритом и гематитом. В составе элементов-спутников урана отмечаются V, Mo, Cu, Ni, Co, Ag, As, Sr, Ba, TR, Th, Zr, Ti, причем наиболее часто и в очень высоких концентрациях урану сопутствуют Ni, Co, Ag и As, соответствуя по своему геохимическому составу так называемой пятиэлементной рудной формации. Вместе с тем, присутствие в геохимическом спектре урановорудных концентраций, приуроченных к черным сланцам, в повышенных содержаниях U, Th, TR, Zr и Ti однозначно свидетельствует об их эндогенно-эпигенетической природе.

Что касается ассоциативности урана в рудногорском типе, то в первую очередь следует обратить внимание на взаимно

скоррелированную ассоциацию пяти вышеперечисленных элементов, а также часто присутствующие положительные связи урана с барием и стронцием, тесным минеральным парагенезисом настурана и барит-карбонатного выполнения рудных жил.

Опираясь на проведенный геохимический анализ можно сделать вывод, что перспективные на урановое оруденение черные сланцы отличаются рядом специфических особенностей:

- они характеризуются пониженными средними содержаниями урана, а также часто Th, Mn, Zn, Pb, Ni, Ti и Ge при относительно повышенных концентрациях Cr, V, Zr, Cu, Be, As, Ag и Sn;

- рудоперспективные площади отличаются крайне неоднородным распределением наряду с ураном As, Ag, Ni, Sr, Ba, а также Zr, Ti и некоторых других элементов, что выражается в относительно высоких значениях коэффициентов вариации, нередко достигающих 100 % и более;

- в перспективных на промышленное оруденение черных сланцах нарушаются (вплоть до исчезновения даже инверсии) первичные (сингенетические) связи урана с такими породобразующими компонентами, как $S_{орг.}$, $S_{сульф.}$, фосфат- и карбонат-ионами;

- разрыв связей урана с его первично-сингенетическими концентраторами в результате наложения комплекса эпигенетических процессов приводит к изменению форм нахождения этого элемента в черных сланцах и существенному повышению (до 25 % и более) доли подвижного, легко выщелачиваемого урана;

- как следствие, измененные наложенными процессами перспективные на промышленное оруденение черные сланцы характеризуются полимодальностью дифференцированных кривых распределения урана и сопутствующих элементов;

- перечисленные геохимические особенности черных сланцев ураноносных площадей выражаются в форме обширных (десятки-первые сотни квадратных километров) аномалий, в контурах которых локализуются промышленные урановые месторождения (Шлема-Альберода, Хауптманнсгрюн-Ноймарк) и их группы (Роннебургское рудное поле). Геохимическое картирование и изучение таких радиогеохимических аномалий показало, что наиболее обширны участки нарушенных первично-сингенетических связей, тогда как аномалии выше и ниже фоновых содержаний урана и сопутствующих элементов наиболее показательны и постепенно сливаются с околорудными ореолами.

Выявленные геохимические и радиогеохимические особенности перспективных на промышленное оруденение черных сланцев позволяют дать прогнозную интерпретацию результатов проведенного на территории Саксо-Тюрингии радиогеохимического анализа и наметить потенциально перспективные площади ранга рудных районов и рудных полей.

3.5. Прогнозная оценка ураноносности

Завершением анализа радиогеохимической информации может быть оценка перспектив ураноносности Саксо-Тюрингии. Многочисленные исследования показывают, что формирование геохимических провинций теснейшим образом связано с характером и интенсивностью дифференциации вещества в ходе геологических процессов. Как правило, в слабодифференцированных геохимических провинциях степень металлогенической специализации отдельных геологических пород и структур весьма низкая. И напротив, интенсивно дифференцированные и дифференцированные провинции потенциально рудоносны. Особого внимания заслуживают провинции, где дифференциация вещества распространяется на значительную глубину, охватывая зачастую отложения сразу нескольких структурных этажей. Анализ имеющейся радиогеохимической информации позволяет сделать определенные выводы о региональных прогнозно-поисковых критериях уранового оруденения.

Основные прогнозно-поисковыми критерии на этапе регионального радиогеохимического районирования для рассматриваемой территории (что может быть распространено и на другие ураноносные территории):

- наличие специализированных на уран провинций, т. е. территорий, где горные породы изначально обогащены ураном и его элементами-спутниками;
- интенсивная радиогеохимическая подготовка (перераспределение элементов) геологических образований, т. е. наличие горных пород с резко неравномерным и неоднородным распределением урана и аномальными значениями торий-уранового отношения (зоны нарушения первично-конституционального распределения элементов, участки выноса и привноса радиоактивных элементов и др.);
- значительные размеры и высокие потенциальные ресурсы радиогеохимически специализированных на уран областей (провинций);

– наличие в обрамлении специализированных областей (провинций) магматических (интрузивных) образований, играющих роль источника тепловой энергии.

Для положительного перспективного прогноза рудных районов необходимое и обязательное условие – совмещенное пространственное проявление указанных выше факторов. Обнаруженные в прошедшем столетии, в том числе на основе подобного подхода, промышленные месторождения урана в Саксо-Тюрингии, подтверждают высказанный постулат. В самых общих чертах ниже приводится характеристика наиболее важных объектов. Более подробные сведения изложены в многочисленных публикациях [Арапов, Савельева, 1978; Величкин, 1971, 1974; Малышев, Савельева, 1985; Пятов, 2005; Рыбалов, 1971; и др.].

Глава 4. ТИПЫ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ САКСО-ТЮРИНГИИ

Разнообразные месторождения урана Саксо-Тюрингии расположены внутри радиогеохимически аномальных зон – составных частей радиогеохимически дифференцированных провинций. В их пределах наиболее интенсивно проявились процессы уранового рудогенеза с формированием урановых месторождений как в породах геосинклинального этапа развития региона, так и в платформенных отложениях. Среди них важное промышленное значение имеют объекты роннебургского и рудногорского типов уранового оруденения.

4.1. Роннебургский тип

По данным И. П. Сергеева [1976], в геологическом строении территории Саксо-Тюрингии принимают участие породы широкого возрастного диапазона (от докембрия до кайнозоя). Они слагают три структурных этажа: нижний, протерозойский кристаллический фундамент; средний с комплексом палеозойских вулканогенно-осадочных и осадочных пород геосинклинальной стадии развития и верхний платформенный, сложенный позднепалеозойскими и мезо-кайнозойскими вулканогенными и осадочными породами.

В геологическом строении региона особое место занимает так называемая продуктивная толща, вмещающая рудные тела урановых месторождений Роннебургского рудного поля. Первоначально к ней относили верхнеордовикские – нижнедевонские отложения. По мере выявления новых рудных тел в стратиграфических горизонтах за её пределами к ней стали относить все породы второго (геосинклинального) этажа – от нижнего ордовика до нижнего карбона включительно. Однако

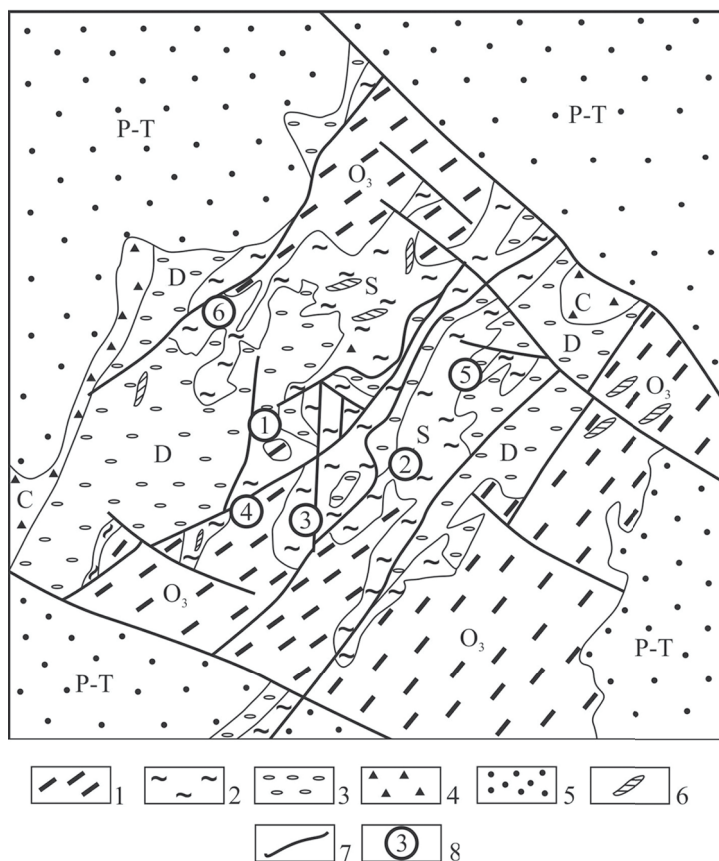


Рис. 8. Структурная схема Роннебургского рудного поля
(В. А. Крупенников, 1969)

1 – сланцы верхнего ордовика; 2 – силурийские породы; 3–5 – отложения: 3 – девона, 4 – карбона, 5 – пермо-триаса; 6 – дайки керсантитов; 7 – разрывные нарушения; 8 – месторождения урана: 1 – Шмирхау, 2 – Пайтцдорф, 3 – Ройст, 4 – Лихтенберг, 5 – Северо-Восточный Роннебург, 6 – Северо-Западный Роннебург

подавляющая масса промышленных запасов урана заключена именно в отложениях ордовика–среднего девона (рис. 2).

Промышленные урановые месторождения Роннебургского рудного поля (Шмирхау, Пайтцдорф, Ройст и др.) приурочены к продуктивной толще в полосе Нойдек-Кримчаусской зоны (рис. 8, 9), отличающейся интенсивно и на большую глубину развитием процессов гипергенного окисления. Юго-восточнее Роннебургского рудного поля также в полосе Нойдек-Крими-

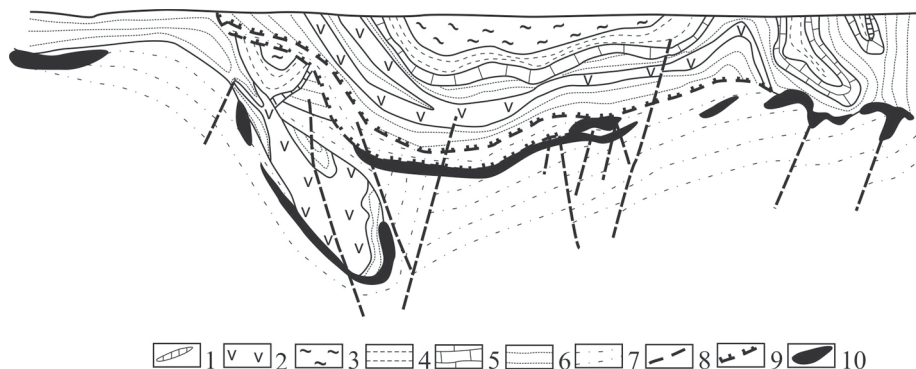


Рис. 9. Схематический разрез уранового месторождения Ройст (Роннебургское рудное поле) (В. А. Крупенников, 1969)

1 – дайки керсантитов; 2 – диабазы; 3–6 – ордовик: 3 – глинистые и известково-глинистые сланцы, 4 – углисто-глинистые сланцы, 5 – доломитизированные известняки, 6 – углисто-кремнистые сланцы; 7 – силур, слюдисто-глинистые сланцы; 8 – послескладчатые разрывы; 9 – чешуйчатые надвиги с тектоническими пластинами девонских пород; 10 – рудные залежи

чаусской зоны локализуется среднее по размерам урановое месторождение Хауптманнсгрюн-Ноймарк.

Промышленные месторождения ассоциируются мелкими месторождениями и рудопроявлениями урана (Планитц-Шенфельз, Кайнсдорф-Вильденфельз и др.). В центральной и юго-восточной частях Шварцбургского поднятия располагаются мелкие месторождения Дитрихсхюгге и Штайнах. В пределах северо-западного обрамления Восточно-Тюрингского поднятия и в районе Шляйц-Мюльтроф присутствует большое число мелких рудопроявлений и точек урановой минерализации. Все они связаны с углеродистыми сланцами силура и контактирующими с ними породами (рис. 10). Мощность продуктивной толщи составляет 800 м и более. Аномальные поля и отдельные аномалии повышенной радиоактивности отмечаются практически повсеместно на выходах отложений силура на современную дневную поверхность. При этом максимальные значения активности – 100–150 мкР/час и более приурочены к участкам развития разноориентированных разрывных нарушений или контактам различных пород с силурийскими отложениями.

Как показали исследования В. К. Кушнеренко [1975], для Роннебургского рудного поля черных сланцев характерны следующие черты:

- по своим радиогеохимическим параметрам черные сланцы практически не отличаются от аналогичных образований,

распространенных в других регионах земного шара [Смыслов, 1974]. При этом концентрация радиоактивных элементов в углеродисто-глинистых сланцах несколько выше, чем в углеродисто-кремнистых;

– аномально повышенными концентрациями урана и тория выделяются гранитоиды каменноугольного и пермо-каменноугольного возраста, а также черные сланцы силура и медистые сланцы цехштейна (верхняя пермь); местный кларк радиоактивных элементов для пород Саксо-Тюрингской области составляет для урана – 4,4, для тория – 11,3 г/т;

– выделяются две эпохи максимального сингенетического накопления урана в осадках; силурийская (углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые сланцы) и пермско-каменноугольная – пермская (медистые сланцы цехштейна);

– по мере увеличения степени метаморфизма содержание радиоактивных элементов постепенно уменьшается и достигает минимума в образованиях гранулитовой фации; существенная мобилизация радиоактивных элементов происходит под воздействием наложенных постмагматических процессов (нарушается первично-конституциональное распределение, происходит их привнос-вынос и т. д.);

– процессы дизъюнктивной тектоники не оказывают заметного воздействия на формирование геохимического фона и аномальных концентраций радиоактивных элементов, а также на их существенную мобилизацию в горных породах (осадочных, метаморфических, магматических).

Изучение химического состава пород продуктивной толщи и распределение в них элементов изучалось Р. В. Гецевой и А. А. Дерягиным (1960). Последние разделены на три группы. В первую входят уран, молибден, ванадий, медь, никель и стронций. Они образуют максимальные концентрации в горизонтах углеродистых сланцев, наиболее обогащенных органическим веществом, на котором эти элементы сорбировались в период осадконакопления. Ко второй группе относятся цирконий, титан, хром и олово. Их накопление можно объяснить концентрацией в иловой и терригенной фракциях осадка. В третьей группе – свинец, кобальт и цинк. Первые два из них распределены по породам продуктивной толщи практически равномерно, цинк же ведет себя противоположно урану. Это объясняется, с одной стороны, тяготением к органическому веществу и тонкозернистым фракциям (свинец, кобальт), а с другой – связью с карбонатными осадками (свинец, цинк). Можно также предполагать, что при региональном метаморфизме рудные элементы мигрировали из горизонта силурийских сланцев, где геохи-

мический фон их наиболее высок, в ордовикские сланцы. Этим же объясняется региональная приуроченность рудопроявлений урана к приконтактовой части отложений ордовика и отсутствие уранового оруденения в сланцах силура. Обогащение рудных диабазов ураном, медью, свинцом, молибденом, ванадием и особенно органическим углеродом также можно объяснить мобилизацией этих элементов из углеродистых сланцев.

По геохимической мобильности в рудном процессе намечаются три группы элементов: весьма мобильные – уран, молибден, свинец, никель, (мышьяк, сурьма); мобильные – бериллий, кобальт, серебро, цинк, ванадий, цирконий; инертные – барий, титан, стронций, хром.

Большая часть исследователей допускает осадочно-метаморфогенный генезис урановых месторождений Роннебургского рудного поля, считая источником металлов их первичное осадочно-диагенетические накопление в черных сланцах силура.

4.2. Рудногорский тип

Месторождения Рудных гор (Шлема-Альберода, Иоганнгергенштадт, Цобес и др.) располагаются в пределах Рудногорско-Пихтовогорского антиклинория и Фогтланд-Рудногорского синклинория в западной части Саксо-Тюрингии, локализуясь в основном в породах третьего структурного этажа, частично в более древних образованиях [Арапов, 1976]. Здесь отложения протерозоя-кембрия, кембрия, ордовика и силура (возможно, девона) в различной степени метаморфизованы – от филлитовых и слюдяных сланцев до гнейсосланцев и гнейсов с прослоями амфиболитов, кварцитов, скарнов. Нижележащие породы докембрия представлены гнейсами и гнейсо-сланцами. Перечисленные образования прорываются крупными интрузиями варисских гранитоидов трех разновозрастных групп. Формирование их, как правило, связывают с бретонской, судетской и астурийской фазами тектогенеза. Наиболее поздние гранитоиды прорывают породы верхнего карбона. С интрузиями связаны контактово-метасоматические и гидротермальные изменения осадочных и вулканогенных пород докембрия и нижнего палеозоя.

Складки первого порядка в районе осложнены более мелкими куполовидными и линейными складками с преобладающим юго-восточным наклоном. Широко развиты разновозрастные разрывные нарушения продольного (северо-восточного) и по-

перечного (северо-западного) простирания, реже – близширотного и меридионального. По размеру и протяженности нарушения подразделяются на различные порядки – от крупных тектонических зон до отдельных трещин. К крупным региональным глубинным разломам, проходящим через Рудные горы, относится поперечная Нойдек-Кримичаусская зона, которая вероятно играла существенную роль в распределении уранового оруденения.

В Рудных горах широко проявлена гидротермальная минерализация, связываемая с варисским магматизмом и последующей регенерацией, обусловленной тектонической активизацией в мезозое и кайнозое. В последовательности формирования выделяются следующие минеральные комплексы: скарново-магнетитовый с шеелитом и полиметаллическим более поздним оруденением, кварц-вольфрамит-касситеритовый с молибденитом, кварц-колчеданный с серебром, кварц-карбонат-сульфидный (раннеполиметаллический), кварц-флюоритовый, карбонат-настурановый, флюорит-баритовый, арсенидный с регенерированным настураном, кварц-магнетит-гематитовый, кварц-карбонатный с киноварью и антимонитом, вероятно, мезозойский (рис. 10). Широко проявлен внутрижильный метасоматоз.

Рудная минерализация, предшествующая карбонат-настурановому комплексу, локализуется преимущественно в разрывных нарушениях северо-восточного простирания. Многие рудоносные жильные тела северо-западного простирания прослеживаются на сотни метров (до одного километра) и пересекают породы различного состава, при этом локализация урановых минералов подчинена литологическому контролю. Благоприятные литологические разновидности – метаморфизованные основные вулканические породы, пиритизированные сланцы, породы, обогащенные углеродистым веществом, скарны с сульфидами, хлоритизированные амфиболиты.

Нижняя граница развития оруденения в большинстве случаев выражена гранитами, прорывающими на различных глубинах породы докембрия и нижнего палеозоя. Большинство рудных жил вскрыто эрозией, часть из них не выходит на поверхность. Установленный интервал развития оруденения достигает 1500–1800 м, обычно же ураноносный интервал жил ограничивается развитием гранитов на глубине $n \cdot 100$ м. В ряде месторождений наиболее высокая концентрация урановых минералов наблюдается в кварц-карбонатных жилах 4–5 порядков, опережающих более мощные жилы, несущие поздние минеральные комплексы и утратившие часть урана в результате внутрижильного метасоматоза [Арапов, 1976].

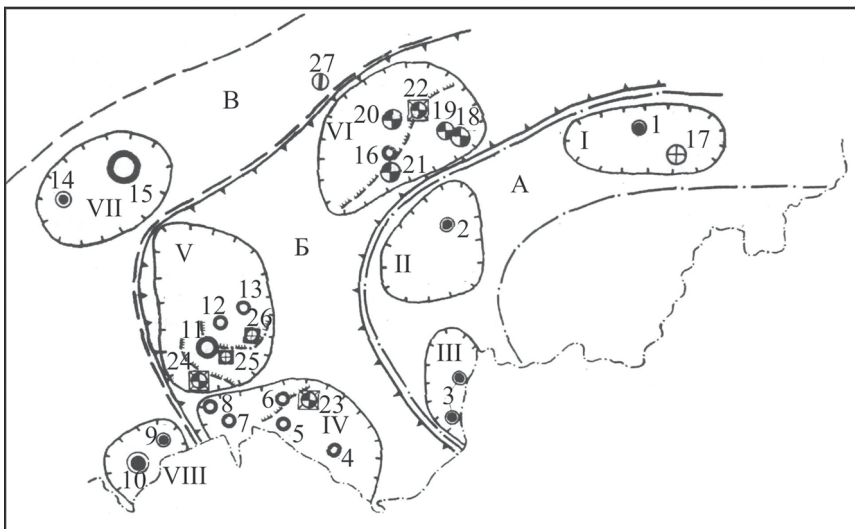


Рис. 10. Схема зональности эндогенного оруденения Западных Рудных гор [Величкин, 1974]

Структурно-рудные узлы: I – Поберсхау-Мариенбергский, II – Аннабергский, III – Беренштайн-Нидершлагский, IV – Теллерхойзерский, V – Шварценбергский, VI – Гайер-Эренфридерсдорфский, VII – Шлема-Шнеебергский, VIII – Иоганнгеоргенштадтский. Рудные зоны: А – внутренняя, Б – средняя, В – внешняя. Жильные урановые месторождения: 4 – Теллерхойзер II, 5 – Теллерхойзер I, 6 – Хаммерляйн, 7 – Унруэ, 8 – Июньское, 11 – Вайсер-Хирш, 12 – Сентябрьское, 13 – Рашау, 15 – Шлема-Альберода, 16 – Восточный Гайер. Висмут-кобальт-никель-серебряно-урановые месторождения: 1 – Мариенберг, 2 – Аннаберг, 3 – Беренштайн-Нидершлаг, 9 – Зайфенбах, 10 – Иоганнгеоргенштадт, 14 – Шнееберг. Оловянные месторождения: 17 – Поберсхау. Вольфрамво-оловянные месторождения: 18 – Фирунг, 19 – Зауберг, 20 – Грайфенштайн, 21 – Гайер. Оловянно-цинковые месторождения: 22 – Гайер-Эренфридерсдорф, 23 – Хаммермейн, 24 – Риттерсгрюн. Олово-железородные месторождения: 25 – Вайсер-Хирш, 26 – Пёла. Сурьмяные месторождения: 27 – Дорфхемниц-Хормесдорф

Типичный представитель урановых месторождений рудногорского типа – крупное месторождение Шлема-Альберода (рис. 11). Оно, наряду с другими урановорудными объектами этого типа, связано с проявлением позднего (орогенного) магматизма кислого состава и принадлежит к классическому жильному структурно-морфологическому типу гидротермальных месторождений, которые располагаются в экзоконтактовых надинтрузивных зонах гипабиссальных массивов варисцийских гранитоидов. Месторождение локализуется в краевой части Рудногорско-Пихтовгорского геоантиклинального блока и приу-

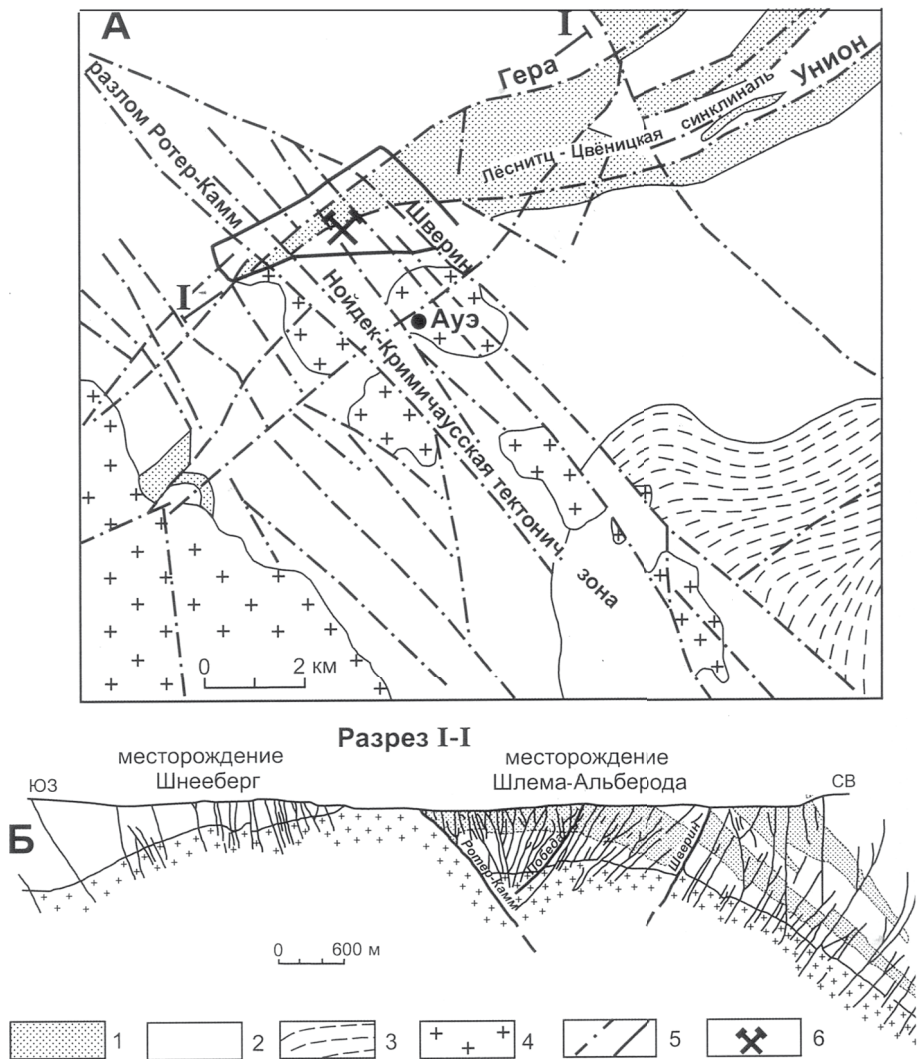


Рис. 11. Геологическая позиция месторождения Шлема-Альберода (А) и поперечный разрез I-I через Нойдек-Кримичаусскую тектоническую зону и купол гранитов (Б) [Лаверов и др., 2012]

1 – кварц-сланцевые, углисто-кремнистые, углеродсодержащие известковистые сланцы, диабазы и их туфы (O₃–D); 2 – филлитовидные сланцы с горизонтами кварцитов и амфибол-хлоритовых сланцев (O); 3 – кристаллические сланцы (Є–PR); 4 – граниты (C₂–P₁); 5 – тектонические нарушения и жилы; 6 – месторождение Шлема-Альберода

рочено к мощной продольной (северо-восточной) межблоковой зоне смятия, в узле сочленения с разломами других направлений: поперечной сквозной рудоконтролирующей Нойдек-Крипчаусской тектонической зоной северо-западного простирания, а также зонами субширотной и субмеридиональной ориентировки [Чернышев и др., 1980]. Рудовмещающими являются ороговикованные породы продуктивной пачки – углеродистые (черные) сланцы, скарнированные и сульфидизированные карбонатные отложения, амфиболитизированные и пиритизированные метадиабазы силура, верхнего ордовика и девона общей мощностью около 400 м. Они образуют крупную, сложную по строению и сильно пережатую складку, приуроченную к зоне продольного межблокового разлома.

В пределах рудного поля проявились почти все метасоматические формации, характерные для рудного района – от скарнов, грейзенов и различных жил варисцийской эпохи до жил и последующих метасоматических образований альпийского возраста. Рудные жилы, как правило, характеризуются сложным полиформационным составом. В большинстве случаев в строении жил принимают участие минеральные ассоциации двух урановорудных формаций, при этом жильные минералы второй из них интенсивно замещают жильные и рудные минералы первой (ранней) урановорудной формации.

Первая урановорудная формация на месторождении Шлема-Альберода, как и на всех других месторождениях Рудных гор, ведущая. Внутри нее в зависимости от вариаций минерального состава выделяются три парагенетические ассоциации (минерального типа): а) кварц-коффинит-настурановая, б) арсенидно-настурановая (ранняя пятиметалльная) и в) кальцит-настурановая [Величкин, 1974; Рыбалов, 1971].

Жилы второй урановорудной формации обычно состоят из бурого доломита и подчиненных количеств железисто-магнезиальных карбонатов, сидерита и кальцита, часто содержащих мелкие включения сульфидов. Значительные скопления интересных в промышленном отношении рудных минералов появляются в жилах при наложении их на жилы первой рудной формации. При этом в последних развиваются процессы магнезиально-карбонатного метасоматоза (доломитизации), приводящие к замещению ранней минерализации карбонатами. При замещении доломитом настурана, обычно богатого примесями селена, меди, мышьяка, свинца и других элементов, в анкерит-доломитовых жилах появляются новообразованные селениды свинца, меди, различные мышьяковые соединения меди, регенерированный настуран. В анкерит-доломитовых

жилах встречаются две парагенетические минеральные ассоциации, в состав которых входит регенерированный настуран: доломит-настурановая и настуран-селенидовая.

Таким образом, по минеральным ассоциациям, структурам и текстурам обе урановорудные формации отчетливо отличаются одна от другой.

Уран-свинцовым методом на месторождении Шлема-Альберода надежно установлен возраст наиболее раннего для Саксо-Тюрингской металлогенической области гидротермального уранового оруденения, представленного кальцит-настурановой ассоциацией. Он составляет 280–270 млн лет и находится в полном согласии с результатами калий-аргонового датирования серицита из окolorудных метасоматитов, развитых вблизи кальцит-настурановых жил. Установленный возраст позволяет говорить о синхронности проявления первичного урановорудного процесса варисцийской эпохи в Саксо-Тюрингской области и смежной с ней центральной части Чешского массива с крупным месторождением урана Пршибрам.

Весь комплекс геохронологических данных по урановым и неурановым (олово, свинец-цинк-серебро, флюорит) месторождениям региона указывает на временную близость процессов их формирования в одну металлогеническую эпоху. В Саксо-Тюрингской области время проявления урановорудных процессов соответствуют ранней перми, что находится в согласии с геологическими представлениями об истории развития региона.

Второй этап урановой гидротермальной минерализации оторван по времени от первой ассоциации примерно на 120 млн лет и совпадает с киммерийской металлогенической эпохой, которая в Рудных горах проявилось в образовании флюоритовых, флюорит-баритовых жил, месторождений пятиметалльной (Bi–Co–Ni–Ag–U) формации [Чернышев и др., 1980].

Генезис месторождений урана Роннебургского рудного поля исследователями предполагается сложный (полигенный и полихронный) с влиянием на формирование и окончательный облик промышленных руд как экзогенных, так и эндогенных процессов [Арапов, 1976].

Анализ обширной радиогеохимической информации, проведенный В. К. Кушнеренко [1975], позволил наметить региональные прогнозно-поисковые критерии уранового оруденения для выделения перспективных структур.

Основные региональные радиогеохимические критерии районов Саксо-Тюрингии роннебургского и рудногорского типов уранового оруденения:

– наличие специализированных на уран провинций, т. е. территорий, где горные породы изначально обогащены ураном и его элементами-спутниками;

– интенсивная радиогеохимическая подготовка (проработка) геологических образований, т. е. наличие горных пород с резко неравномерным и неоднородным распределением урана и аномальными значениями торий-уранового отношения (зоны нарушения первично-конституционального распределения элементов, участки выноса и привноса радиоактивных элементов и др.);

– значительные размеры и высокие потенциальные ресурсы радиогеохимически специализированных на уран областей (провинций);

– наличие внутри обрамления специализированных областей (провинций) магматических (интрузивных) образований, играющих роль источников тепловой энергии.

Касаясь вопроса литолого-геохимического (петрохимического) контроля уранового оруденения рудногорского типа, Н. П. Лаверов с соавторами [2012] отмечают, что рудные столбы, а в ряде случаев и локальные крупные скопления настурана, располагаются в участках жил, на которых они пересекают породы определенного состава, выполнявшие роль геохимических барьеров. Таковыми являются: контакты (или переслаивание) пород кислого (кварц-сланцевые и кварц-полевошпат-сланцевые сланцы) и основного (амфиболовые и хлоритовые сланцы, скарноиды, скарны) состава; углеродсодержащие сланцы; обогащенные сульфидами породы; магнетитовые и сульфидно-магнетитовые амфиболовые скарны. Определенная роль отводится дегазационному барьеру. Его действие связано со спорадически возникавшими раздвиговыми подвижками разрывов, по которым происходило перемещение рудоносных растворов. При этом снижалось давление в растворах, что служило причиной их скипания и последующего удаления выделившейся углекислоты. Активность восстановителей при дегазации рудоносных растворов была достаточной для перевода шестивалентного урана в четырехвалентный.

4.3. Прочие типы уранового оруденения

Наряду с роннебургским и рудногорским типами уранового оруденения в Саксо-Тюрингии выявлены скопления урана в более молодых отложениях — угленосных породах орогенных

впадин C_2-P_1 (фрайтальский тип), в отложениях P_2 (цехштейна) месторождения группы Кульмич и гидрогенное оруденение в наложенной позднемеловой впадине (кёнигштайнский тип). Урановорудные объекты этих типов по масштабу и практической значимости значительно уступают двум предыдущим (рис. 12).

Урановое оруденение на месторождении Фрайталь в Деленском угольном бассейне приурочено к определенным петрографическим типам нижнепермских углей, но местами проявляется в других угольных пластах, а также в горючих сланцах. Формирование основной массы оруденения связывают с ранними процессами экзодиагенеза, вместе с тем в оруденелых угольных пластах распространены и более поздние прожилковые формы выделения рудного вещества, в том числе и урановой минерализации. Основная часть раннего оруденения находится, вероятно, в форме сорбированного урана или в форме уран-органических комплексов, хотя встречаются также собственные минералы урана (коффинит, настуран), образовавшиеся в стадию эпигенеза в процессе литификации пород. Послеплатформенная тектоническая активизация привела к перераспределению и усложнению состава руд с формированием коффинитовой и коффинит-настуран-полиметаллической минерализации. Изотопные уран-свинцовые характеристики стратиформного и трещинного оруденения на месторождении Фрайталь отличаются друг от друга; условное значение возраста оруденения трещинного типа 165–155 млн лет, прожилково-вкрапленного – 285 ± 30 млн лет [Лашков, 1984].

В Тюрингской впадине в пестроцветном терригенно-карбонатном комплексе P_2 (цехштейн) залегают месторождения группы Кульмич (Кульмич, Зорге). Оруденение приурочено к базальным конгломератам и к сероцветным лагунно-аллювиально-дельтовым песчаникам с пропластками доломитизированных известняков, содержащих углеродистое вещество. Рудные тела пластовой формы с относительно равномерным распределением тонкодисперсного урана располагаются на нескольких гипсометрических уровнях. На отдельных участках встречаются более крупные выделения урановых минералов, образующих гидрослюдисто-карбонат-коффинит-настуран-сульфидную ассоциацию, сходную с продуктивной ассоциацией роннебургских месторождений. Радиологический возраст настурана 120–90 млн лет. В формировании первичного оруденения этих месторождений существенная роль, по-видимому, принадлежала седиментационно-диагенетическим процессам с поступлением урана из разрушенных поздневарисских руд и углеродистых сланцев силура. С этапом мезозойской активизации, как

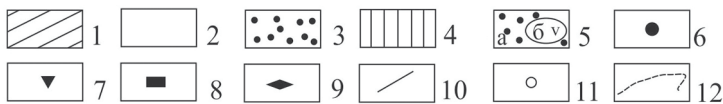
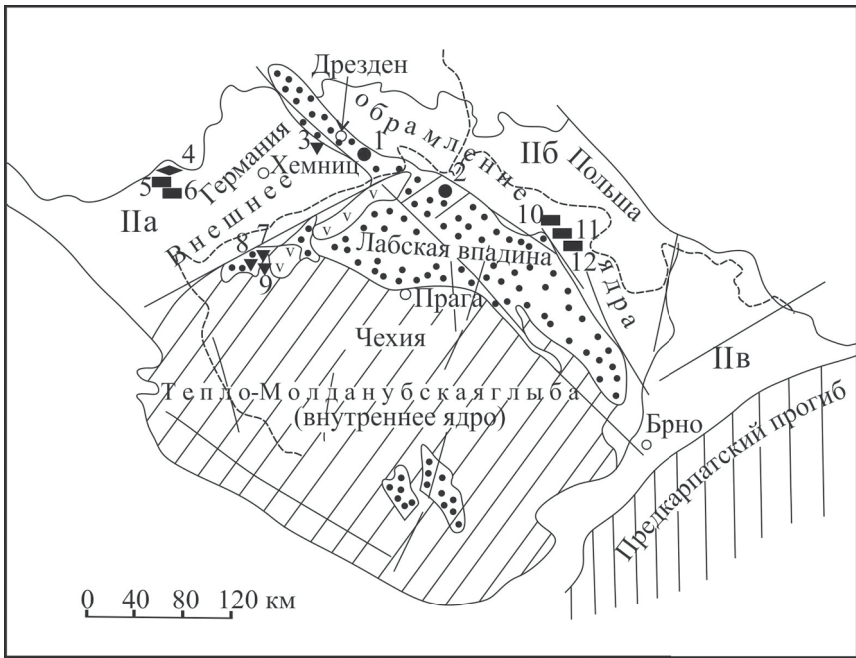


Рис. 12. Схематическая структурная карта Чешского массива
[Грушевой, 1972]

1–5 – области развития: 1 – древних пород фундамента (протерозой), 2 – палеозойских пород фундамента, 3 – терригенных пород платформенного чехла (мезозой), 4 – постскладчатого орогенного комплекса (кайнозой), 5 – пород эпиплатформенного комплекса (неоген); 6 – инфильтрационные урановые месторождения; 7 – позднедиагенетические (?) урановые месторождения, связанные с молодыми угленосными отложениями; 8 – седиментационно-диагенетические урановые месторождения, связанные с палеозойскими угленосными и пестроцветными (цехштейн) отложениями; 9 – осадочно-метаморфогенные месторождения; 10 – главные разрывные нарушения; 11 – города; 12 – государственная граница. Урановые месторождения: 1 – Кёнигштайн, 2 – Гамр, 3 – Фрайгаль, 4 – Роннебургское рудное поле, 5 – Зорге, 6 – Кульмич, 7 – Одерж, 8 – Рупрехтов, 9 – Гаек, 10 – Рыбничек, 11 – Стаханов, 12 – Пятилетка

и в месторождениях роннебургского рудного поля, связано пе­реотложение урана и образование продуктивной урановорудной ассоциации [Савельева и др., 1985].

В поздне меловом континентально-морском комплексе локализовано месторождение Кёнигштайн, а в сопредельной

аналогичной структурно-литологической обстановке – Гамр, Страж и др. в Чехии (рис. 12). Промышленное оруденение локализовано главным образом в основании сеномана в пресноводных лагунных и морских песчаниках. На месторождении Кёнигштайн отложения сеномана с резким несогласием залегают на коре выветривания мощностью до 40 м, развитой по гранитам Маркерсбахского массива. Продуктивная толща сеномана расчленена на три пачки, соответствующие трем осадочным фациям – континентальной, лагунной и морской. Меловые отложения прорваны маломощными дайками базальтоидов. В морских песчаниках известны руды, формирование которых связано с зоной пластового окисления (урансодержащие лимониты и руды со вторичной урановой минерализацией). Кроме того, здесь же развиты сульфидно-настурановые рудные тела, контролируемые зонами интенсивной трещиноватости. В целом месторождение обладает пластово-трещинным типом оруденения с типоморфной сульфидно-(пирит-, марказит-) коффинитовой ассоциацией, нередко сопровождаемой баритом или сфалерит-настурановой минерализацией. Встречаются тонкодисперсные трудно диагностируемые выделения урана неустановленной минеральной формы, которые проявлены в околотрещинных участках с наложенной сульфидно-коффинитовой минерализацией. Радиологический возраст урановых руд датируется двумя периодами 65–20 и 22–18 млн лет [Савельева и др., 1985].

С пестроцветными отложениями поздней перми (цехштейн) связаны мансфельдские медистые сланцы, в которых наряду с основными рудными составляющими (железо, цинк, свинец, медь) и сульфидной серой присутствуют 65 элементов, часть из них представляет промышленный интерес – серебро, золото, никель, металлы платиновой группы, скандий, кадмий, рений, таллий, ванадий и молибден [Наркелюн и др., 1983]. По данным Б. В. Воробьева [1974], на фоне убогих седиментационных концентраций урана в медистых сланцах участками в них проявляются аномалии, где содержание достигает сотен, а в отдельных случаях тысяч грамм на тонну. Размещение аномальных концентраций урана и меди в пределах Зангерхойзерской мульды контролируется системой северо-восточных нарушений, совпадающей с подвижной тектонической зоной Рула-Киффхойзер. Площади с повышенными и высокими содержаниями урана ($n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-1}$ %) прослежены буровыми скважинами на 30 км к центру осадочного бассейна, образуя в совокупности полосу шириной около четырех километров.

Многолетнее изучение уранового оруденения позволяет дать заключение о его происхождении.

4.4. Генезис и закономерности размещения уранового оруденения

На генезис месторождений роннебургского типа (Роннебургского рудного поля) имеются различные точки зрения [Козлов, 1973]. Гипотеза об осадочно-метаморфическом происхождении руд впервые высказана Б. М. Косовым, Н. С. Зонтовым и М. Б. Бесовой и поддержана Р. В. Гецевой. Сторонники этой точки зрения считают, что источники урана в месторождениях — черные сланцы силура, и связывают формирование их с перераспределением и концентрацией урана при региональном динамотермальном метаморфизме в стадию варисского тектогенеза. Предположение о гидротермальном образовании руд впервые высказали М. П. Анцышкин, В. В. Воробьев, В. М. Садрисламов и далее развил Б. Л. Рыбалов. Согласно первоначальной точке зрения, формирование месторождений связывалось с гидротермальными процессами, завершившими варисский тектоно-магматический цикл в Саксо-Тюрингии. Позже Б. Л. Рыбалов пришел к выводу о том, что месторождения роннебургского типа являются телетермальными (не находятся в видимой связи с магматическими породами) и их формирование, наряду с месторождениями Кульмич, Зорге, Гауэрн, локализованными в отложениях цехштейна (P_2), связано с позднекиммерийским (J_3-K_1) этапом рудообразования. Вопрос об источниках урана Б. Л. Рыбалов оставлял открытым. Точку зрения об инфильтрационном происхождении месторождений впервые высказал В. И. Смирнов. По его мнению, месторождения образованы за счет осаждения урана из метеорных вод, а источником урана служили песчаники и алевролиты цехштейна. По мнению Ф. В. Козлова [1973] месторождения имеют гидротермальное происхождение, но в формировании их современного облика значительная роль принадлежит грунтовым водам. Вопрос об источнике урана остается нерешенным.

Генезис месторождений рудногорского типа признается гидротермальным с проявлением в Саксо-Тюрингии двух металлогенических эпох — киммерийской и вариссийской. Возраст ранней кальцит-настурановой ассоциации на месторождении Шлема-Альберода составляет 280–270 млн лет. Возраст второй доломит-настурановой и карбонат-гидрослюдистой ассоциаций, фиксируемой в метасоматитах вблизи урановорудных тел, составляет соответственно 155 и 180 млн лет [Чернышев и др., 1980]. Установленный с помощью U-Pb метода на месторождении Шлема-Альберода возраст позволяет говорить о син-

хронности проявления первичного урановорудного процесса варисцийской эпохи в Саксо-Тюрингской области и смежной с ней центральной части Чешского массива (месторождение Пршибрам).

В Саксо-Тюрингии в геотектоническом отношении отмечаются определенные закономерности в размещении различных типов урановых месторождений [Савельева и др., 1985]. Жильные гидротермальные месторождения сосредоточены главным образом в пределах Пихтовогорско-Рудногорского антиклинория (область устойчивого поднятия). Пластообразные уранугольные гидротермально-осадочные месторождения фрайтальского типа, синхронные жильным месторождениям, расположены в синклинальных прогибах и приурочены к орогенным впадинам (областям устойчивого прогибания). Стратиформные полигенно-полихронные роннебургские месторождения развиты в пределах Тюрингского синклинория в области орогенного выступа. Стратиформные осадочно-гидротермальные месторождения (Кульмич и др.) размещены в наложенной мульде в пределах Тюрингского синклинория (устойчивый прогиб). Гидрогенное оруденение приурочено к позднемеловой впадине, сформированной на орогенном выступе.

По представлениям Б. Л. Рыбалова [1971], развитые в Саксо-Тюрингии рудные формации и урановые месторождения сформированы в две основные металлогенические эпохи. Первая — поздневарисцийская (C_3-P_1) включает скарновый, грейзеновый, гидротермальный средне-низкотемпературный этапы. Урановорудные жилы кварц-кальцит-настурановой формации образовались в завершающий этап этой эпохи.

Вторая — альпийская (мезо-кайнозойская) эпоха (J_3-N_1) состоит из мезозойского (J_3-K_1) и кайнозойского (P_3-N_1) гидротермальных низкотемпературных циклов (этапов), включающих ряд стадий и рудных формаций. Дисперсные и прожилково-вкрапленные урановые руды, приуроченные к черным сланцам нижнего палеозоя и руды, залегающие в платформенных отложениях, вероятно, были сформированы в течение мезозойского цикла.

Образование рудных формаций альпийской эпохи связано по времени и в пространстве с проявлением тектонической и тектоно-магматической активизации эпиварисской платформы Саксо-Тюрингской области в поздней юре — раннем мелу, а также в позднем палеогене — раннем неогене. Формирование рудных формаций происходило, очевидно, из термальных растворов, насыщенных углекислотой, фтором, серой и другими газами, которые циркулировали вдоль крупных глубинных раз-

ломов и пластов платформенных отложений. Происхождение растворов могло быть как эндогенное, так и геотермальное или, скорее всего, комбинированное.

Источник рудных компонентов этих растворов в разных блоках различный и далеко не всегда ясный. По мнению В. И. Малышева и К. Т. Савельевой [1985], длительное и сложное формирование урановых месторождений Роннебургского рудного поля, происходившее при участии и взаимодействии осадочно-метаморфогенных, гипергенных и эндогенных рудоформирующих процессов, обусловило их уникальность и позволяет отнести эти месторождения к полигенно-полихронному типу. Уникальность урановорудных объектов определяется следующими особенностями:

- наличие сингенетических накоплений урана – основного потенциального источника металла промышленных руд (ураноносная углеродисто-сланцевая формация силура);

- исключительно сложное геологическое строение рудного поля (сочетание сложных складок с надвигами, оползнями и разнонаправленными глубинными нарушениями), обусловившее многократное повторение в разрезе ураноносных сланцев и последующее сосредоточение огромных количеств сингенетического урана на ограниченной площади с интенсивными тектоническими нарушениями;

- мобилизация урана из ураноносных сланцев в результате неоднократного проявления экзогенных и эндогенных рудо-подготовительных и рудообразующих (рудоконцентрирующих) процессов;

- дополнительное поступление урана при поздневарисской гидротермальной деятельности.

Обширный материал по особенностям радиогеохимии горных пород и урановых месторождения Саксо-Тюрингии дает возможность рассмотреть радиоэкологические аспекты терриории и степени ее радиационной опасности.

Глава 5. ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ

Как известно, все живые организмы Земли подвергаются постоянному облучению за счёт естественных радионуклидов земной коры, космического излучения, техногенного радиационного воздействия от источников, используемых в медицине и других отраслях народного хозяйства, радиоактивных осадков при авариях предприятий ядерного топливного цикла и при испытательных взрывах ядерного оружия.

Исследованиями последних лет установлено, что более 60 % дозы ионизирующего излучения приходится на естественные природные источники. Более половины этой величины связано с радиоактивным излучением радона и его дочерних продуктов распада, преобладающая доля которых содержится в воздухе жилых и производственных помещений.

Основными природными источниками облучения являются естественные радиоактивные элементы, рассеянные в литосфере (горные породы, почвы), в гидросфере (поверхностные и подземные воды), в атмосфере (почвенный воздух, газы зон глубинных разломов, приземные слои воздуха) и в биосфере (растения, животные, люди).

Радиоактивные элементы, как известно, присутствуют практически во всех геологических образованиях в разной концентрации. Можно наметить три уровня их содержания в горных породах. Первый уровень отвечает нормальному геохимическому фону горных пород, при котором содержание урана и тория, включая продукты распада, не превышает 2,5 кларков (последние по А. П. Виноградову [1962] равны: уран – $2,5 \cdot 10^{-4} \%$, торий – $10 \cdot 10^{-4} \%$). Второй уровень радиоактивных элементов связан с формированием геохимически специализированных осадочно-метаморфических и магматических комплексов горных пород, содержание урана и тория

в которых достигает 2,5–10 кларков и выше. Формирование этих комплексов связано со специфическими условиями осадконакопления и магматической дифференциацией в определенных тектонических структурах и формационных зонах земной коры. Третий наиболее высокий уровень природной радиоактивности связан с развитием наложенных (эпигенетических) процессов преобразования горных пород в результате гидротермальной деятельности или инфильтрации подземных вод. В таких структурах формируются эпигенетические концентрации урана (и тория), которые слагают основную массу урановых месторождений: гидротермальных, гидrogenных и полигенных (сложного генезиса).

Под воздействием физико-химических процессов зоны гипергенеза происходит перераспределение радиоэлементов в породах и почвах. Пути их миграции различны. Уран, окисляясь, легко переходит в раствор и рассеивается. Радий, обладая большой миграционной способностью, легко выщелачивается, но не переносится на значительные расстояния в связи с высокими сорбционными свойствами. Он содержится во всех механических фракциях почвы, и во всех фракциях отмечается нарушение равновесия между радием и ураном в сторону избытка радия. Резкое смещение радия по отношению к урану обязано интенсивному выносу урана. Источники радия в породах и почвах – урановые руды, а также природные воды. Радон в природе образуется за счёт радиоактивного распада урана (радия), тория и актиния. Он быстро распадается, образуя ряд промежуточных радиоактивных элементов. В основном он накапливается в почвенном воздухе и частично растворяется в водах. Подавляющая часть дозы облучения формируется при ингаляционном поступлении радиоактивного вещества и обусловлена изотопами радона.

Человек контактирует с радоном очень широко, но особенно он опасен в жилых помещениях, где проникает из геологического пространства под зданием, строительных материалов, используемой воды и бытового газа. В настоящее время в широких масштабах проводятся исследования, направленные на разработку мер по уменьшению влияния природных источников ионизации, в первую очередь радона, на человека. Существенную помощь этому оказывает составление специализированных карт радоновой опасности, позволяющих судить о величине реальной и потенциальной радиационной угрозы, а также обязательный мониторинг состояния радиозоологии в урановорудных (в том числе с отработанными месторождениями) районах.

Очевидно, что с точки зрения радоновой опасности наиболее благоприятны в радиационном отношении те геологические и ландшафтно-геохимические районы, где уровень содержания урана (радия) нормальный (фоновый). Повышение этого уровня до 10 кларков и выше неизбежно сказывается на увеличении концентрации радона и, как следствие, облучении живых организмов в особенности в тех случаях, когда радон и продукты его распада попадают внутрь с пищей, водой и воздухом. Отсюда следует, что все геологические объекты с повышенным (второй и третий уровни) содержанием урана (радия) – потенциальные источники радона и должны быть обязательно вынесены на карту радоновой опасности.

Радон хорошо растворяется в воде и нефти, обнаружен во многих источниках минерализованных вод, подземных водах артезианских и нефтегазоносных бассейнов, откуда в результате изменения давления и температуры выделяется в атмосферный воздух. Поэтому источники минерализованных вод с повышенной концентрацией радона, начиная с 30–50 эман (или более $10 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³) должны быть взяты на учет при оценке радиационной опасности той или иной территории.

Миграция радона в горных породах (совместно с другими газами или различными природными водами) происходит в горных породах главным образом по ослабленным зонам (зонам разломов и трещиноватости). Установлено, что при землетрясениях возрастает давление в зонах очагов, что на несколько порядков увеличивает площадь или поверхность выхода радона из минерала. Следовательно учет интенсивности и распространенности тектонических движений земной коры в связи с землетрясениями и вулканическими процессами также необходим при выделении районов повышенной радоновой опасности.

Исходя из опыта работ авторов по составлению радиоэкологических карт ряда регионов, можно сформулировать рекомендации по составлению (на основе представленных радиогеохимических материалов) специальных карт радиационной опасности Саксо-Тюрингии. Легенда радиологической карты строится по тому же принципу, что и радиогеохимической, т. е. включает два блока: геологической информации и данных по радоновой опасности.

В свою очередь блок информации по радону может быть разделен на две составляющих. Первая представляет данные по потенциальным (естественным) концентрациям радона в горных породах за счет радиоактивного распада уранорадиевого семейства главным образом в специализированных на

уран формациях. Используя известное соотношение закона радиоактивного распада, с учетом объема полученного газа, зная конкретные содержания урана в горных породах, объемную плотность горных пород и урановых руд, а также коэффициенты эманирования, можно условно рассчитать ту вероятную концентрацию радона, которая может образоваться в данном геологическом теле. При таких расчетах возможная концентрация образовавшегося радона будет колебаться в широких пределах от 50–100 до 1200 Бк/м³ и более. Нужно подчеркнуть, что эти расчёты достаточно условны, характеризуют не абсолютные концентрации радона, а относительные и могут быть использованы при сравнительной характеристике и оценке горных пород и отдельных блоков. Исходя из предельно допустимых норм концентрации радона в жилых помещениях, минимальная рекомендуется 100–200 Бк/м³.

Другой основной источник радона – месторождения уран-содержащих руд. В легенде радиоэкологических карт они всегда обозначаются специальным знаком независимо от генезиса уранового оруденения. При этом следует иметь в виду, что аномальные концентрации радона на месторождениях устанавливаются как в атмосферном и почвенном воздухе, так и в водах, омывающих урановорудные тела и выходящих на дневную поверхность. Особое внимание должно быть уделено отвалам действующих и отработанных шахт (рудников, карьеров), откуда радон наиболее легко попадает в атмосферу и воду. Отдельными знаками в легенде всегда обозначены водные источники минерализованных вод с аномальными концентрациями радона (и других радиоактивных элементов), а также ареалы распространения источников подземных вод с радоном и ураном.

Вторая составляющая радоновой информации – техногенное (антропогенное) воздействие на природные объекты. Здесь можно указать регионы или населенные пункты, где в жилых помещениях устанавливаются аномальные концентрации радона, области современных землетрясений и современной тектоники, которые могут контролировать выходы радоновых источников. Сюда же можно отнести участки развития малых гранитоидных массивов с повышенными концентрациями радиоактивных элементов, участки с широким развитием кор выветривания, угленосные бассейны, фосфоритсодержащие геологические формации, отстойники нефтяных вод.

По данным анализа распределения концентрации радона на территории Саксо-Тюрингии, а возможно и гораздо шире выходя за пределы её границ, целесообразно осуществлять радиогеоэкологическое районирование с выделением участков

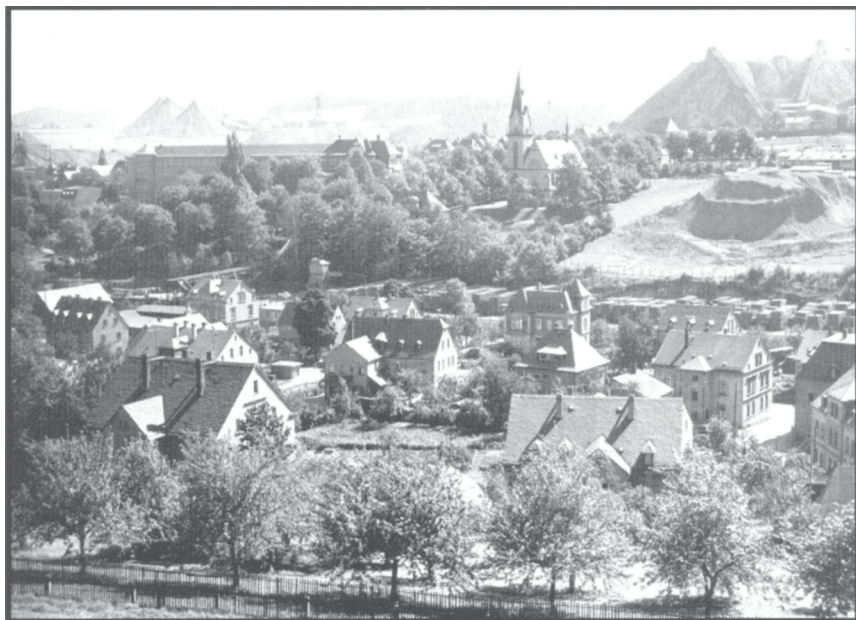


Рис. 13. Промышленный пейзаж в окрестностях Нидершлема (Niederschlema) [Geologie und Uranbergbau ... , 2008]

нормальных, потенциально опасных, опасных и повышенной радоновой опасности.

Нормальные районы характеризуются отсутствием повышенных концентраций радиоактивных элементов. В потенциально опасных районах имеются повышенные концентрации радиоактивных элементов, но аномальные объекты непосредственно не воздействуют на окружающую среду: подземные воды глубинных горизонтов, породы, невыходящие на дневную поверхность, месторождения на глубине, которые не вовлечены в эксплуатацию. Сюда же относятся объекты атомной промышленности (действующие и законсервированные). В радиационно опасных районах установлены объекты с превышением предельно допустимых концентраций хотя бы для одного радиоактивного элемента в любой из природных сред (литосфера, гидросфера, атмосфера). Районы повышенной радиационной опасности включают объекты с превышением предельно допустимых концентраций нескольких элементов в двух и более средах.

С большой вероятностью следует ожидать, что выделенные в ходе дальнейших исследований площади, дифференцированные в соответствии с предложенной градацией радиационной

опасности, будут в полной мере координироваться со схемой ураноносности важнейших геологических структур и массивов гранитоидов Саксо-Тюрингии (рис. 3).

Меры безопасности в урановорудных районах Саксо-Тюрингии, где расположены отработанные месторождения урана, всегда включают радиационный контроль, во многом сходный с таковым для урановорудных районов с действующими горнорудными предприятиями [Организация ... , 2001]. Его цель — обеспечить непревышение установленных допустимых значений основных пределов доз и производных уровней радиационно опасных факторов (РОФ), а также получение необходимой информации для оптимизации защиты и принятия решений о вмешательстве в случаях повышенного радиационного воздействия на людей и загрязнения радионуклидами окружающей среды.

Основные задачи радиационного контроля:

- выявление участков с повышенным уровнем РОФ и установление границ контролируемых зон;
- систематический контроль уровней РОФ в пределах контролируемых зон;
- определение фоновых значений РОФ в окружающей среде в районе расположения отработанных объектов;
- оценка радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- анализ фактической эффективности мероприятий по обеспечению радиационной безопасности и выполнения норм, правил и гигиенических нормативов в области радиационной безопасности.

Для определения границ контролируемой зоны и выбора пунктов систематического контроля производится предварительная оценка радиационной обстановки на территории отработанных предприятий, в том числе где сохранился промышленный пейзаж (рис. 13), в процессе которой:

- определяют уровни РОФ в отвалах и поверхностных горных выработках,
- проводят рекогносцировочную гамма-съемку территории,
- определяют содержание радионуклидов в водных источниках,
- определяют фоновые (характерные для района расположения отработанных предприятий) значения мощности дозы гамма-излучения и содержания радионуклидов в объектах окружающей среды.

Участки и объекты на поверхности, где суммарный приведенный уровень РОФ превышает или может превысить 0,1 допустимого, включают в контролируемые зоны. В пределах

контролируемых зон проводят детальную оценку радиационной обстановки с целью выявления источников и причин повышенных уровней РОФ.

Результаты оценки радиационной обстановки – основание для подготовки и реализации программы радиационного контроля, в которую, помимо прочих, входят специальные мероприятия по изучению эффективности используемых мер защиты для исключения загрязнения окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе системного анализа и статистической обработки около 50 000 литогеохимических проб, отобранных на площади 30 000 км², дана подробная характеристика распределения урана и тория в основных типах горных пород Саксо-Тюрингской металлогенической области Германии.

Установлено, что аномально повышенными содержаниями радиоактивных элементов отличаются гранитоиды карбонового и пермско-каменноугольного возраста: U – до 16,1–16,8, Th до 40–43 г/т, а также силурийские черные сланцы: U – до 28,6–34,0 г/т и медистые сланцы цехштейна: U – до 13,5 г/т. В региональном плане повышенными средними концентрациями урана и тория выделяются осадочно-метаморфические образования Роннебургского рудного поля: U – 8,5, Th – 9,7 г/т, района Рудольфштадта: U – 7,7, Th – 11,5 г/т, Рудногорско-Фогтландской синклинали: U – 7,1, Th – 14,5 г/т, Восточно-Тюрингского поднятия: U – 7,1, Th – 13,0 г/т, юго-восточного крыла Главной Фогтландской синклинали: U – 7,0, Th – 8,8 г/т и северо-западного обрамления Гранулитовых гор: U – 6,8, Th – 13,6 г/т. Среди магматических пород весьма повышенными содержаниями радиоактивных элементов характеризуются варисские гранитоидные массивы Гайер-Эренфридерсдорф: U – 16,1, Th – 7,1 г/т, Кирхберг: U – 12,0, Th – 34,1 г/т, Айбеншток: U – 10,1, Th – 10,7 г/т, Берген: U – 10,1, Th – 8,4 г/т и некоторые другие интрузии.

В истории геологического развития территории наложение эпигенетических процессов на радиогеохимически специализированные породы привело к мобилизации радиоактивных элементов и их последующей концентрации с образованием природных радиогеохимических аномалий (точек минерализации, рудопроявлений, месторождений), сопровождающихся обширными ореолами миграционно-способных форм радиоактивных элементов. Участки локальных концентраций радиоактивных

элементов, сопряженные с этими ореолами, образуют крупные аномальные радиогеохимические зоны и провинции, имеющие важное значение.

Положение таких зон определяется важными геологическими структурами, вмещающими урановые месторождения. К ним относятся Герский выступ и Шмёльнский грабен с урановыми объектами Роннебургского рудного поля, Эльбтальский прогиб, Сланцевые горы и Мюгельнская мульда, выполненные отложениями перми (красный лежень и цехштейн) с многочисленными проявлениями и отдельными месторождениями урана. Особая роль принадлежит структурам Западных Рудных гор с месторождениями Шлема-Альберода, Шнееберг и др., локализованными в продуктивной толще вблизи гранитных интрузий, Централных и Восточных Рудных гор с урановыми объектами рудногорского типа.

Аномальные радиогеохимические зоны, содержащие объекты с природной радиоактивностью, радиационно опасны и, в первую очередь, радоноопасны. Степень радиоактивной опасности зависит от массы радиоактивных пород и руд на конкретных площадях месторождений и рудопроявлений в отработанных урановорудных районах. В пределах радиационно опасных территорий целесообразно проведение мониторинговых наблюдений. Приведенные данные по радиогеохимии геологической среды Саксо-Тюрингии могут использоваться в качестве фактологической основы при дальнейшей системной оценке радиационной опасности урановорудных районов Саксо-Тюрингской металлогенической области.

CONCLUSIONS

Detailed description of U and Th distribution in main types of rocks of the Saxo-Thuringian metallogenic area, Germany, is given on the basis of system analysis and statistical processing of about 50,000 lithochemical samples taken in the area of 30,000 km².

It has been identified that anomalously elevated grades of radioactive elements are typical of Carboniferous and Permian-Carboniferous granitoids: up to 16.1–16.8 U, up to 40–43 ppm Th, as well as Silurian black shale: up to 28.6–34.0 ppm U and Zechsteinian copper schist: up to 13.5 ppm U. Regionally, elevated average U and Th concentrations are recorded in sedimentary-metamorphic deposits of the Ronneburg ore field: 8.5 U, 9.7 ppm Th, Rudolfstadt area: 7.7 U, – 11.5 ppm Th, Erzgebirge-Vogtland Syncline: 7.1 U, 14.5 ppm Th, East Thuringian Uplift: 7.1 U, 13.0 ppm Th, southeastern flank of the Main Vogtland Syncline: 7.0 U, 8.8 ppm Th and NW framing of the Granulitgebirge: 6.8 U, 13.6 ppm Th. As concerns magmatic rocks, elevated grades of radioactive elements are characteristic of Variscan Geyer-Ehrenfriedersdorf granitoid massifs: 16.1 U, 7.1 ppm Th, Kirchberg: 12.0 U, 34.1 ppm Th, Eibenstock: 10.1 U, 10.7 ppm Th, Bergen: 10.1 U, 8.4 ppm Th and some other intrusions.

In the history of geological evolution of the area, the superposition of epigenetic processes on radiogeochemically-oriented rocks resulted in the mobilization of radioactive elements and their subsequent concentration to form natural radiogeochemical anomalies (occurrences, shows, deposits) accompanied by vast halos of migratable forms of radioactive elements. Areas of local concentrations of radioactive elements associated with these halos form large anomalous radiogeochemical zones and provinces of great importance.

Position of these zones is controlled by important geological structures that host uranium deposits. Among them are the Gera Uplift and Schmölln Graben with uranium deposits of the Ronneburg ore field, Elbtal Trough, Schiefergebirge, Mügeln Trough filled in Per-

mian sediments (Rotliegende and Zechstein) with numerous uranium shows and several deposits. Of particular importance are structures of the Western Erzgebirge with Shlema-Alberoda, Schneeberg and other deposits located in the productive strata near granitic intrusions, Central and Eastern Erzgebirge with Erzgebirge-type uranium sites.

Anomalous radiogeochemical zones, which host sites with natural radioactivity are radiation hazardous, particularly as concerns radon. The degree of radioactive hazard depends on the mass of radioactive rocks and ores in certain sites of deposits and occurrences in worked out uranium districts. Within the radiation-hazardous areas, it is advisable to conduct monitoring observations. The data on geochemistry of the geological environment in Saxo-Thuringia can be used as a factual basis for further systematic assessment of radiation hazards of uranium districts in the Saxo-Thuringian metallogenic area.

ЛИТЕРАТУРА

- Арапов Ю.А., Савельева К.Т.* Урановые месторождения и рудные формации Чешского массива и положение их в Центрально-Европейской металлогенической области // *Материалы по геологии урановых месторождений.* 1976. Вып. 52. – С. 4–40.
- Бейтс Т., Стрел Э.* Минералогия и химия урансодержащих черных сланцев // *Геология атомного сырья.* – М.: Атомиздат, 1959. – С. 26–37.
- Величкин В.И.* Закономерности локализации уранового и других типов эндогенного оруденения в Западных Рудных горах (ГДР) // *Материалы по геологии урановых месторождений.* 1971. Вып. 19. – С. 22–36.
- Величкин В.И.* Положение уранового оруденения в эндогенной рудной зональности Западных Рудных гор (ГДР) // *Материалы по геологии урановых месторождений.* 1974. Вып. 32. – С. 39–51.
- Виноградов А.П.* Среднее содержание геохимических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // *Геохимия.* 1962. № 7. – С. 555–571.
- Воробьев Б.В.* Распределение урана в верхнепермских медистых сланцах Тюрингии как один из критериев оценки перспектив нижних структурных этажей // *Специальные вопросы атомной науки и техники. Серия: геология атомной промышленности.* – М., 1974. Вып. 1 (7). – С. 11–17.
- Грушевой Г.В.* Закономерности размещения экзогенных эпигенетических урановых месторождений: Автореф. дис. ... доктора геол.-минер. наук. – ВСЕГЕИ, 1972. – 39 с.
- Ермолаев Н.П.* Факторы мобилизации и перераспределения рудных микроэлементов в углеродисто-кремнистых сланцах венда – раннего палеозоя // *Проблемы осадочной геологии докембрия.* Вып. 7. Кн. 2. – М.: Наука, 1976. – С. 51–59.
- Казанский В.И., Лаверов Н.П., Тугаринов А.И.* Эволюция уранового рудообразования. – М.: Атомиздат, 1978. – 208 с.
- Карпунин А.М.* Стратиформные месторождения цветных металлов. – Л.: Недра, 1974. – 120 с.

- Карпунин А.М., Миронов Ю.Б., Бузовкин С.В., Соболев Н.Н.* Эпохи уранового седиментогенеза черносланцевого типа в осадочных бассейнах Земли // *Отечеств. геология*. 2012. № 1. — С. 18–28.
- Козлов Ф.В.* Некоторые особенности геологического строения месторождений Роннебургского рудного поля // *Специальные вопросы атомной науки и техники*. Серия: геология атомной промышленности. — М., 1973. Вып. 2 (5). — С. 95–101.
- Кушнеренко В.К., Русецкий В.Б.* Геологическое строение и перспективы ураноносности северо-западного обрамления Гранулитовых гор: результаты глубинных поисков оруденения роннебургского типа в районе Альтмёрбитц, Шлема, 1975, (АО «Висмут»).
- Кушнеренко В.К.* Геохимические критерии ураноносности продуктивной черносланцевой толщи Саксо-Тюрингской провинции // *Материалы по геологии урановых месторождений*. 1982. Вып. 71. — С. 41–49.
- Лаверов Н.П.* Урановые и молибден-урановые месторождения в областях развития континентального внутрикорового магматизма: геология, геодинамические и физико-химические условия формирования / Н.П. Лаверов, В.И. Величкин, Б.П. Власов, А.П. Алешин, В.А. Петров. — М.: ИФЗ РАН, ИГЕМ РАН, 2012. — 320 с.
- Лашков Б.П.* Особенности изотопного состава свинца радиоактивных руд и вмещающих пород Саксо-Тюрингии в связи с поисками урана: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. — Л., 1984. — 28 с.
- Мальшев В.И., Савельева К.Т.* Урановые месторождения Роннебургского рудного поля // *Специальные вопросы атомной науки и техники*. Серия: геология и горное дело. 1985. Вып. 2. — С. 21–37.
- Марченко В.В.* Советско-германское акционерное общество «Висмут», некоторые итоги геологических исследований (записки ветерана). URL: Kk.Convdocs.org/docs/index-100804.html (дата обращения 17.08.2015).
- Наркелюн Н.Ф., Салихов В.С., Трубачев А.И.* Медистые песчаники и сланцы мира. — М.: Недра, 1983. — 414 с.
- Неручев С.Г.* Уран и жизнь в истории Земли. — СПб.: ВНИГРИ, 2007. — 328 с.
- МУ 2.6.1.11-01. Организация радиационного контроля на урановых рудниках и расчет доз облучения персонала: Методические указания. Утв. 26 марта 2001 года. URL: [docs.cntd.ru>document/1200060340](http://docs.cntd.ru/document/1200060340) (дата обращения 30.06.2015).
- Пятов Е.А.* Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР / под ред. Г.А. Машковцева. — М.: ВИМС, 2005. — 246 с.
- Рыбалов Б.Л.* Вопросы истории развития метаморфизма, магматизма и рудообразования в Саксо-Тюрингской области и некоторые пер-

- спективы её ураноносности // Материалы по геологии урановых месторождений. 1971. Вып. 19. – С. 37–52.
- Савельева К.Т., Стафеев К.Г., Портнов Ф.К., Мальшев В.И.* Этапы геологического развития и рудные формации юга ГДР // Материалы по геологии урановых месторождений. 1985. Вып. 95. – С. 5–13.
- Сергеев И.П.* Роль гипергенной геохимической зональности в продуктивной толще при поисках месторождений урана Роннебургского типа: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 1976. – 27 с.
- Смирнов В.И.* Соотношение осадочного и гидротермального процессов при формировании колчеданных руд в юрских флишоидах Большого Кавказа // ДАН СССР. 1967. Т. 177. № 1. – С. 179–181.
- Смыслов А.А.* Уран и торий в земной коре. – Л.: Недра, 1974. – 231 с.
- Смыслов А.А., Титов В.К.* Роль регионального метаморфизма в формировании радиологической зональности земной коры // Известия АН СССР. Серия Геологич. 1967. № 11. – С. 30–40.
- Суражский Д.Я.* Методы поисков и разведки месторождений урана. – М.: Атомиздат, 1960. – 240 с.
- Хаин В.Е.* Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. – М.: Недра, 1977. – 359 с.
- Чернышев И.В., Рыбалов Б.Л., Голубев В.Н.* и др. Возраст процессов (этапов) уранового рудообразования на месторождении Шлема-Альберода (ГДР) / Материалы по геологии урановых месторождений. 1980. Вып. 63. – С. 42–54.
- Шувалов Ю.М.* Закономерности размещения урановорудных провинций в континентальных блоках земной коры: Автореф. дис. ... доктора геол.-минер. наук. – Л., 1978. – 40 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Геохимия черных сланцев. – Л.: Наука, 1988. – 272 с.
- Ядерная энергетика Германии // Интернет-энциклопедия Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерная_энергетика_Германии (дата обращения 09.07.2015).
- Diercke Weltatlas.* Westermann Schulbuchverlag GmbH. Braunschweig 1988. Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda. Bergbaumonographie / Hiller A., Schuppan W., Wolf P. Freiberg: LfUG. 2008. 194 s.
- Turekian K.K., Wedepohl K.H.* Distribution of the elements in some major unite of the Earths crust // Bull. Geol. Soc. Amer. 1961. Vol. 72, N 2. – P. 175–191.
- Zuffardi P.* Transformism in the genesis of the ore deposits: examples from Sardinia lead-zinc deposits // Int. Geol. Congress., Rep. of 23 ses. 1968. – P. 137–149.
- Zuffardi P.* La metallogenese du plomb, zinc et du barium en Sardaigne: un exempl de permanence, de polygenetisle et de transformisme // Ann. Soc. Geol. Belg. 1969. D. 92. N 3. – P. 321–344.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. История изучения ураноносности и развития атомной энергетики Германии	9
Глава 2. Геологическое строение Саксо-Тюрингии	17
2.1. Стратиграфия	—
2.2. Магматизм	24
2.3. Тектоника	28
2.4. Петрохимия магматических пород	33
Глава 3. Радиогеохимические особенности Саксо-Тюрингии	37
3.1. Радиогеохимия осадочных и метаморфических пород	43
3.2. Радиогеохимия магматических пород	72
3.3. Радиогеохимическое районирование	86
3.4. Геохимические особенности ураноносных черных сланцев	91
3.5. Прогнозная оценка ураноносности	97
Глава 4. Типы уранового оруденения Саксо-Тюрингии	99
4.1. Роннебургский тип	—
4.2. Рудногорский тип	103
4.3. Прочие типы уранового оруденения	109
4.4. Генезис и закономерности размещения уранового оруденения	113
Глава 5. Вопросы радиоэкологии и радиационной опасности	116
Заключение	123
Литература	127

CONTENTS

Introduction	5
Chapter 1. History of studying the uranium potential and development of nuclear power industry in Germany	9
Chapter 2. Geological structure of Saxo-Thuringia	17
2.1. Stratigraphy	—
2.2. Magmatism	24
2.3. Tectonics	28
2.4. Petrochemistry of magmatic rocks	33
Chapter 3. Radiogeochemical features of Saxo-Thuringia	37
3.1. Radiogeochemistry of sedimentary and metamorphic rocks ...	43
3.2. Radiogeochemistry of magmatic rocks	72
3.3. Radiogeochemical zoning	86
3.4. Geochemical features of uranium-bearing black shale	91
3.5. Prognostic assessment of uranium potential	97
Chapter 4. Types of uranium mineralization in Saxo-Thuringia	99
4.1. Ronneburg type	—
4.2. Erzgebirge type	103
4.3. Other types of uranium mineralization	109
4.4. Genesis and patterns of uranium mineralization location	113
Chapter 5. Problems of radioecology and radiation hazard	116
Conclusions	125
References	127

*Владимир Константинович Кушнеренко,
Анатолий Михайлович Карпунин,
Юрий Борисович Миронов*

**Особенности радиогеохимии
и радиоэкологические аспекты Саксо-Тюрингии
(Германия)**

Редактор и корректор издательства *Л. В. Набиева*
Технический редактор *С. В. Щербакова*
Компьютерная верстка *С. В. Щербакова*

Подписано в печать 07.10.2015. Формат 60 × 90/16. Гарнитура NewtonС
Печать офсетная. Печ. л. 8,25. Уч.-изд. л. 9. Тираж 150 экз. Зак. № 80000478

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А.П. Карпинского» (ВСЕГЕИ)
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
Тел. 328-87-85, факс 328-90-47. E-mail: TMB@vsegei.ru

Отпечатано на Картографической фабрике ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72. Тел. 328-91-90, факс 321-81-53



9 17 8 5 9 3 7 1 6 1 2 3 6 6