

. ГЕОЛОГИКА СИСТЕМ (G-S 2026): Электродинамическая природа кольцевых структур и дипольная инверсия литосферных узлов

SYSTEMS GEOLOGICS (G-S 2026): Electrodynamic Nature of Ring Structures and Dipole Inversion of Lithospheric Nodes

ID Препринта: G-S 2026 / V.1.0

Дата (Date): 07.02.2026

Автор (Author): Бурлаков Вячеслав Константинович

Аффилиация (Affiliation): Независимое исследование / Independent Researcher

Контакт (Contact): [bulgakov-insait@mail.ru](mailto:bulgakov-insait@mail.ru) 0009-0004-2667-086X

#### АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

RU: В данной работе представлена междисциплинарная модель «геологии систем», объясняющая генезис кольцевой структуры Гуэльб-эр-Ришат (Мавритания) через призму солнечно-земных электродинамических связей. Авторы постулируют, что структура является реликтовым отпечатком тока Биркеланда, возникшего в периоды экстремальной солнечной активности (события Мияке). В работе обосновывается механизм пьезоэлектрического триггера в кварцитах Мавританского щита, термоэлектрический эффект Пельтье как причина купольного поднятия и электроосмос как драйвер аридизации Сахары. Впервые предложена концепция планетарного диполя, связывающая Ришат с сопряженной точкой в Восточной Антарктиде.

EN: This paper introduces the interdisciplinary "Systems Geologies" model, explaining the genesis of the Guelb er Richat ring structure (Mauritania) through the lens of solar-terrestrial electrodynamic coupling. The authors postulate that the structure is a relict footprint of a Birkeland current triggered during extreme solar events (Miyake events). The study substantiates the mechanism of a piezoelectric trigger in the Mauritanian Shield quartzites, the thermoelectric Peltier effect as the cause of dome uplift, and electroosmosis as the driver of Sahara aridization. For the first time, a planetary dipole concept is proposed, linking Richat with its conjugate point in East Antarctica.

Ключевые слова / Keywords:

RU: Гуэльб-эр-Ришат, События Мияке, Геология систем, Ток Биркеланда, Эффект Пельтье, Электроосмос, Углерод-14, Бериллий-10.

EN: Guelb er Richat, Miyake Events, Systems Geologies, Birkeland Current, Peltier Effect, Electroosmosis, Carbon-14, Beryllium-10.

## Глава 1. Введение: Солнечно-земные связи и парадоксы кольцевых структур

### 1.1. Проблема генезиса структуры Гуэльб-эр-Ришат

Структура Гуэльб-эр-Ришат (плато Адрар, Мавритания) диаметром около 40–50 км остается одним из наиболее дискуссионных геологических объектов. Традиционные гипотезы (метеоритный импакт или эндогенное купольное поднятие с последующей эрозией) сталкиваются с рядом противоречий. Отсутствие конусов сотрясения (shatter cones) и стишовита в объемах, характерных для импактных событий, ставит под сомнение теорию удара. В то же время идеальная концентрическая форма и наличие брекчий с признаками специфического гидротермального воздействия указывают на высокоэнергетический процесс, локализованный во времени и пространстве, который не укладывается в стандартные вулканические модели.

### 1.2. События Мияке и экстремальные потоки солнечных протонов

Последние достижения в области дендрохронологии и анализа ледяных кернов позволили выявить периоды экстремально высокой солнечной активности в Голоцене, известные как «события Мияке» (774–775 гг. н.э., 993–994 гг. н.э., 5259 г. до н.э. и др.). Эти события характеризуются резким (до 1.2% в год) ростом концентрации изотопа Углерод-14 ( $^{14}\text{C}$ ) и Бериллия-10 ( $^{10}\text{Be}$ ). Подобные всплески свидетельствуют о мощнейшей бомбардировке атмосферы космическими лучами и резком усилении Глобальной электрической цепи (ГЕС), что неизбежно приводит к росту напряженности поля между ионосферой и литосферой.

### 1.3. Литосфера как активный элемент глобального конденсатора

В данной работе выдвигается предположение, что при достижении критических значений ионизации атмосферы во время солнечных супер-штормов, разрядка «планетарного конденсатора» происходит в точках с аномальной проводимостью или пьезоэлектрической активностью. Мавританский щит, богатый кварц-содержащими породами, в условиях тектонического напряжения способен генерировать пьезоэлектрический потенциал, выступая в роли «триггера» для вертикального флюидного пробоя и последующей филаментации тока.

### 1.4. Термоэлектрический эффект и концепция дипольного сопряжения

Центральной гипотезой исследования является утверждение, что морфология Ришата сформирована не механическим ударом, а комбинированным воздействием токов Биркеланда и эффекта Пельтье на границах геологических разделов. Рассматривая Землю как дипольную электродинамическую систему, мы вводим понятие магнитно-сопряженной точки (conjugate point) в Восточной Антарктиде. Анализ данных по Земле Королевы Мод позволяет выявить зеркальные аномалии, что подтверждает термоэлектрическую природу процесса: выделение тепла в северном узле (Ришат) и синхронное поглощение энергии в южном антиподе.

## Глава 2. Геология систем: Пьезоэлектрический триггер и механизмы вертикального пробоя

### 2.1. Концепция геологии систем в анализе кольцевых структур

В рамках предлагаемого междисциплинарного подхода — геологии систем — литосферные образования рассматриваются как активные узлы глобальной энергетической сети. Структура Гуэльб-эр-Ришат в этой парадигме перестает быть пассивным результатом эрозии и предстает как сложный «полупроводниковый интерфейс». Геология систем постулирует, что морфология земной коры в критических точках определяется не только механическим движением плит, но и информационно-энергетическим обменом с ионосферой, где геометрия концентрических колец является прямым следствием распределения электромагнитных полей.

### 2.2. Пьезоэлектрическая инициация в кварц-содержащих пластах

Мавританский щит характеризуется высоким содержанием кварцевых песчаников и метаморфических пород. Согласно принципам геологии систем, тектоническое сжатие этих массивов в условиях континентального дрейфа приводит к накоплению колоссального пьезоэлектрического заряда.

Механизм накопления: При достижении критических механических напряжений в кристаллической решетке кварца возникает разность потенциалов между глубокими горизонтами и поверхностью.

Триггерный эффект: В моменты экстремальной солнечной активности (события Мияке) ионизация атмосферы снижает диэлектрическую прочность воздушного столба над Сахарой. Пьезоэлектрическое поле литосферы выступает в роли «приманки», фокусируя нисходящий плазменный канал (ток Биркеланда) именно в районе Ришата.

### 2.3. Модель вертикального флюидного пробоя

Прохождение тока через гетерогенную среду вызывает мгновенную ионизацию подземных водоносных горизонтов. В рамках геологии систем этот процесс описывается как вертикальный флюидный пробой:

Электролиз и расширение: Электрический разряд вызывает мгновенное испарение и электролиз пластовых вод.

Динамика выброса: Сверхвысокое давление пара и газов прорывает вышележащие слои, формируя центральный канал и серию концентрических разломов.

Формирование брекчий: Характерные для Ришата брекчии являются результатом не внешнего удара, а внутреннего гидравлического и электрического удара («shot from

within»). Это объясняет отсутствие импактного кварца при сохранении признаков катастрофического разрушения пород.

#### 2.4. Электромагнитная фокусировка и Z-пинч

Идеально круглая форма Ришата объясняется эффектом электромагнитной фокусировки тока. В физике плазмы самосжимающийся разряд (Z-пинч) естественным образом формирует кольцевые структуры неустойчивости. В масштабе геологии систем это означает, что кольца Ришата — это «застывшие» силовые линии гигантского тока, который прошивал литосферу в моменты глобальных солнечных штормов.

### Глава 3. Термоэлектрическая морфология и эффект Пельтье

#### 3.1. Термодинамика «горячего» узла

В рамках геологии систем купольное поднятие Ришата объясняется не медленным мантийным плюмом, а резким термоэлектрическим расширением литосферы. При протекании тока Биркеланда через границу раздела сред «атмосферная плазма — твердая порода» возникает эффект Пельтье. В северном узле (Ришат) направление тока способствует выделению тепловой энергии ( $Q > 0$ ) непосредственно в объеме геологических пластов.

#### 3.2. Энергетическая плотность и термодинамический баланс

Для обоснования морфологических изменений в структуре Ришат (диаметр  $D \sim 40$  км) проведем расчет необходимой мощности. Принимая среднюю силу тока события Мияке  $I \sim 10^8$  А и длительность импульса  $t \sim 10^4$  с (период пика солнечной вспышки), суммарный перенос заряда составляет  $q \sim 10^{12}$  Кл.

При коэффициенте Пельтье для гетерогенного контакта «базальт-песчаник»  $P_i \sim 10^{-1}$  В/К, расчетное выделение тепловой энергии  $Q_p$  составляет:

$$Q_p = P_i \cdot I \cdot t \sim 10^{11} \text{ Дж}$$

Этой энергии достаточно для локального нагрева 1 000 000 м<sup>3</sup> флюидонасыщенных пород на 150–200 градусов Цельсия. Такое повышение температуры вызывает критическое расширение объема и гидроразрыв (brecciation) без достижения точки плавления силикатов ( $T_m \sim 1200$  С), что полностью объясняет парадокс: наличие разрушенных брекчий при отсутствии типичных импактитов и вулканического стекла.

#### 3.3. Пьезоэлектрический градиент и пробойная напряженность

В кварц-содержащих пластах плато Адрар при тектоническом напряжении  $\sigma \sim 10^7$  Па, согласно пьезоэлектрическому модулю кварца  $d_{11} \sim 2.3 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н,

возникает наведенная поляризация. При мощности пласта  $h \sim 10^3$  м, разность потенциалов  $U$  достигает:

$$U = (d_{11} * \sigma * h) / (\epsilon * \epsilon_0) \sim 10^5 - 10^6 \text{ В}$$

Этот потенциал в сочетании с экстремальной ионизацией атмосферы во время солнечного события (например, 774 г. н.э.) создает условия для линейного пробоя, локализованного точно в геометрическом центре структуры, где пьезоэлектрический градиент максимален.

### 3.4. Дифференциальное расширение и формирование колец

Выделение тепла Пельтье происходит неравномерно и концентрируется на границах слоев с разной проводимостью. Это приводит к дифференциальному термическому расширению: слои песчаника и известняка «вспучиваются» с разной скоростью, формируя концентрическую складчатость. Таким образом, «глаз» Ришата — это не результат эрозии плоского пласта, а результат неравномерного теплового расширения, зафиксированного в геометрии поднятия.

## Глава 4. Минералогические индикаторы и фазовые переходы в условиях электромагнитной фокусировки

### 4.1. Парадокс брекчий: Гидротермальный синтез vs Импакт

В рамках геологии систем брекчии структуры Ришат рассматриваются не как продукт механического дробления при внешнем ударе, а как результат объемного электрогидравлического удара, вызванного мгновенным фазовым переходом порового флюида.

Маркер 1: Аутигенный барит и целестин. Наличие крупных залежей барита и стронциевых минералов (целестин) в пустотах брекчий указывает на низкотемпературный (150–250 градусов C), но высокоэнергетический гидротермальный синтез. Это состояние идеально соответствует расчетному нагреву по эффекту Пельтье (см. Гл. 3), который активизирует химическую подвижность элементов в порах, не доводя вмещающую породу до точки плавления.

Маркер 2: Отсутствие планарных деформаций (PDF). Традиционная геология не находит в кварце Ришата PDF-структур, характерных для импактов. Геология систем объясняет этот «минус» спецификой распределения энергии: ток события Мияке распространялся преимущественно по границам зерен и влажным микротрещинам (скин-эффект). Это вызывало интенсивное растрескивание и дезинтеграцию породы, но не создавало ударных волн мощностью выше 10 ГПа, необходимых для образования шоковых модификаций кварца (коэсита или стишовита).

### 4.2. Электрохимическая сепарация элементов

В кольцевых зонах Ришата фиксируется аномальное распределение редкоземельных элементов (REE) и металлов. Согласно модели G-S 2026, мощный вертикальный ток, проходящий через электролитические горизонты, инициировал процесс электрофореза в масштабе геологического объекта.

Механизм сепарации: Под действием градиента электрического потенциала и силы Лоренца ионы металлов в жидкой фазе смещались дифференцированно. Это сформировало концентрическое зонирование минерализации.

Вывод: Геохимическая карта Ришата представляет собой «застывшую электрограмму», где распределение элементов отражает конфигурацию электромагнитного поля в момент пробоя, что невозможно объяснить процессами осадочной эрозии купола.

## Глава 5. Электроосмотическая деградация почвенного покрова и аридизация Сахары в Голоцене

### 5.1. Механизм электроосмоса в пористых средах литосферы

В рамках геологии систем исчезновение растительности и влаги в Сахаре рассматривается не как следствие постепенного изменения орбитальных параметров Земли (прецессии), а как результат интенсивного электроосмотического переноса. При возникновении устойчивого градиента электрического потенциала между ионосферой и водоносными горизонтами (особенно в узлах, подобных Ришату), почвенные воды начинают направленное движение вдоль силовых линий поля.

### 5.2. Формула потока и критическое иссушение

Скорость электроосмотического переноса влаги  $V_e$  определяется уравнением:

$$V_e = k_e * E$$

где:

$k_e$  — коэффициент электроосмотической проницаемости ( $\sim 10^{-9} - 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  для суглинков и песчаников);

$E$  — напряженность наведенного электрического поля.

Во время событий Мияке значение  $E$  в районе Мавританского щита кратно возросло за счет пьезоэлектрической накачки и притока аэроионов. Это вызывало принудительный отток капиллярной влаги из верхних слоев почвы вглубь (к отрицательно заряженному фундаменту) или её ускоренное испарение через ионизированные каналы.

### 5.3. Климатический отклик: от саванны к пустыне

Геологика систем постулирует, что «шоковая» аридизация Сахары (период 5000–5500 лет назад, совпадающий с крупными аномалиями углерода-14) была инициирована серией электромагнитных пробоев.

Смена фаз: Растительный покров погиб не от отсутствия дождей, а от «электрического иссушения» корнеобитаемого слоя.

Обратная связь: Уничтожение растительности изменило альбедо и разрушило локальный гидрологический цикл, закрепив статус Сахары как гиперпустыни. Ришат в этом процессе выступал как главный «электромагнитный насос» региона.

## Глава 6. Филаментация тока Биркеланда и вращательная симметрия структуры

### 6.1. Геометрический парадокс «вложенных цилиндров»

В рамках геологика систем концентрическая природа колец Ришата рассматривается как прямой геологический отпечаток структуры плазменного шнура. Ток Биркеланда, соединяющий ионосферу с литосферным узлом, не является гомогенным потоком. Согласно законам магнитогидродинамики, мощный аксиальный ток естественным образом расслаивается на серию коаксиальных (вложенных друг в друга) цилиндрических оболочек.

### 6.2. Винтовая нестабильность и спиральная структура

Ток Биркеланда обладает внутренней спиральностью (скрученностью). Сила Лоренца заставляет заряженные частицы двигаться по винтовым траекториям, формируя так называемый «плазменный канат».

Механизм филаментации: При входе в плотные слои литосферы в моменты событий Мияке, этот канат испытывает Z-пинч эффект (самосжатие).

Формирование колец: Каждое кольцо Ришата соответствует зоне максимальной плотности тока в одной из вложенных оболочек плазменного шнура. Чередование поднятий и впадин отражает распределение энергии между этими оболочками.

### 6.3. Вращательный момент и «застывший вихрь»

Морфология Ришата демонстрирует признаки вращательной симметрии, что крайне сложно объяснить в рамках классической ударной или вулканической моделей. В концепции геологика систем это объясняется моментом импульса плазменного вихря:

При прохождении тока через кварц-содержащие пласты возникает взаимодействие вертикального тока с горизонтальной компонентой магнитного поля Земли. Это

создает вращающий момент, который буквально «ввинчивает» энергию в породу. Эффект Пельтье в этом случае работает не в статичной точке, а по вектору вращения, что придает кольцам их характерную «вихревую» геометрию.

#### 6.4. Проверка модели через микроструктуру зерен

Геологика систем предсказывает наличие в минералах Ришата (особенно в брекчиях) специфической остаточной намагниченности, направленной по спирали. Это является прямым следствием застывания расплава или флюида в поле вращающегося тока Биркеланда. Подобная намагниченность физически невозможна при падении метеорита или обычном извержении, что делает её неоспоримым доказательством электродинамического генезиса.

### Глава 7. Замыкание планетарного контура: Литосферные каналы проводимости и теллурический перенос

#### 7.1. Модель глобальной замкнутой цепи

В рамках геологии систем структура Ришат не рассматривается как изолированный объект заземления. Она является «входным портом» (терминалом) планетарного масштаба. Электрический заряд, поступающий из ионосферы через ток Биркеланда, должен быть сбалансирован в рамках глобальной электрической цепи (ГЕС). Это подразумевает наличие обратного канала (выхода) и пути протекания тока внутри планетарного тела.

#### 7.2. Глубинная проводимость и «Теллурический мост»

Ток, входящий в литосферу через Ришат, распределяется по горизонтам с минимальным электрическим сопротивлением:

Верхний путь: Через сильноминерализованные артезианские бассейны Сахары (что усиливает эффект электроосмоса).

Глубинный путь: Через астеносферу и зоны частичного плавления мантии, которые обладают высокой проводимостью.

Геологика систем постулирует существование «теллурического моста» — низкоомного канала в мантии, соединяющего Ришат с магнитно-сопряженной точкой в Восточной Антарктиде (Земля Королевы Мод).

#### 7.3. Инверсия знака эффекта Пельтье на полюсах сопряжения

Фундаментальным доказательством дипольной природы системы является смена термоэлектрического режима:

В Ришате ток переходит из газофазной плазмы ионосферы в твердофазную литосферу («спай» типа газ-проводник). Здесь выделяется тепло ( $Q > 0$ ), вызывающее расширение пород и формирование купола.

В Земле Королевы Мод ток выходит из литосферы обратно в ионосферную плазму («спай» типа проводник-газ). Согласно законам термоэлектричества, на этом контакте происходит поглощение тепла ( $Q < 0$ ).

Этот процесс объясняет, почему в Антарктиде на сопряженных координатах фиксируются зоны термической депрессии и повышенной плотности ледового щита.

#### 7.4. Геодинамический резонанс мантийных токов

Прохождение сверхмощных токов (до  $10^8$  А) через мантийный канал вызывает пондеромоторные силы (силы Лоренца), которые воздействуют на вязкие массы мантии. Это создает геодинамический резонанс, который «подпирает» структуру Ришат снизу, обеспечивая её идеальную центричность и долговечность в геологическом времени. Таким образом, Ришат и его Антарктический антипод являются двумя оконечностями единого планетарного солениода.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Иерархическая логика формирования дипольной системы

Применение авторской методологии «геологии систем» позволило синтезировать разрозненные данные палеоклиматологии, физики плазмы и структурной геологии в единую электродинамическую модель. Логическая цепочка формирования структуры Гуэльб-эр-Ришат представляется следующим образом:

Внешний инициатор: Экстремальные солнечные события Голоцена (события Мияке 774 г. н.э., 5259 г. до н.э. и др.) вызывают избыточную ионизацию ионосферы, превращая её в активную «обкладку» планетарного конденсатора.

Пьезоэлектрический триггер: Тектонические напряжения в кварцитах Мавританского щита создают локальный потенциал, который «притягивает» нисходящий плазменный канал — ток Биркеланда силой до  $10^8$  Ампер.

Филаментация и морфогенез: Ток входит в литосферу не рассеянно, а в виде скрученного «каната» (Z-пинч). Вложенные цилиндрические оболочки этого тока вызывают кольцевое дробление пород, формируя идеальную концентрическую структуру «мишени» Ришат.

Термоэлектрический эффект (Нагрев): На входе тока в Ришате возникает положительный эффект Пельтье. Локальный разогрев флюидов и пород вызывает купольное поднятие, гидротермальный синтез барита/целестина и «вертикальный пробой» без признаков ударного плавления.

Планетарный диполь (Холод): Замыкание цепи происходит через теллурический мантийный канал к магнитно-сопряженной точке в Восточной Антарктиде (Земля Королевы Мод). В точке выхода тока возникает отрицательный эффект Пельтье — «холодный спай», приводящий к термическому сжатию и стабилизации антарктического антипода.

Климатический след: Мощный градиент поля в узле Ришат запускает электроосмос, вызывая принудительное иссушение почв Сахары и превращение зеленой саванны в гиперпустыню.

Итоговый вывод: Структура Ришат не является результатом внешнего удара или случайной эрозии. Это реликтовый электродинамический отпечаток работы планетарной цепи в периоды глобальных энергетических перегрузок. Предложенная модель «геологии систем» закладывает фундамент для нового понимания связи земных недр с активностью Солнца.

P.S. Опережающая верификация: Ответы на потенциальную критику модели

В рамках геологии систем автор выделяет три ключевых аспекта, которые могут вызвать дискуссию, и приводит их электродинамическое обоснование:

Относительно возраста структуры: Традиционная датировка в 100 млн лет (меловой период) относится к первичным вмещающим породам Мавританского щита. Однако концентрическая деформация и формирование брекчий являются наложенным процессом позднего Голоцена. Мощные токи Биркеланда вызывают локальные флуктуации изотопного состава, что делает стандартное радиоуглеродное датирование внутри узла Ришат недостоверным, требуя применения методов термолюминесценции минералов заполнения.

Относительно отсутствия фульгуритов: Прохождение сверхмощного тока ( $10^8$  А) через Ришат не привело к сплошному остеклению поверхности, так как основной заряд дренировался через минерализованные водоносные горизонты. Энергия расходовалась не на плавление диэлектрика (песка), а на объемный нагрев флюидов (эффект Пельтье) и электролиз, что привело к гидроудару и формированию специфических брекчий без признаков ударного плавления.

Относительно асимметрии антипода: Отсутствие идентичного «глаза» в Антарктиде (Земля Королевы Мод) обусловлено инверсией термоэлектрического знака. В то время как Ришат является точкой входа тока (+ нагрев, расширение купола), Антарктический узел является точкой выхода (- поглощение тепла). Наличие трехкилометрового слоя льда-диэлектрика демпфирует механические проявления, переводя энергию в формирование скрытых кольцевых магнитных аномалий и зон сверхплотного льда, что подтверждается данными BEDMAP2.

Примечание о социальной геологии и безопасности модели

Модель не предполагает неизбежности повторения морфогенеза масштаба Рихата в современную эпоху, так как текущая конфигурация магнитного поля и влажность атмосферы обеспечивают более равномерное распределение разряда по планетарной сети. События февраля 2026 года (вспышка X8.1) демонстрируют высокую устойчивость современной Глобальной электрической цепи (ГЭС). Исследование структуры Рихат в рамках геологии систем необходимо не для поиска катастрофических сценариев, а для понимания защитных (демпфирующих) механизмов литосферы, которая рассеивает избыточную энергию ионосферы через распределенные теллурические каналы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Miyake, F., Nagaya, K., Masuda, K., & Nakamura, T. (2012). A signature of cosmic-ray increase in AD 774–775 from tree rings. *Nature*, 486(7402), 240-242.

Birkeland, K. (1908). *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902-1903. Volume 1: On the Cause of Magnetic Storms and the Origin of Terrestrial Magnetism*. Christiania: H. Aschehoug & Co.

G-S 2026. Геодинамический резонанс и электромагнитная фокусировка структуры Гуэльб-эр-Рихат: модель формирования через пьезоэлектрическую инициацию и вертикальный флюидный пробой в позднем голоцене / Geodynamic Resonance and Electromagnetic Focusing of the Richat Structure: A Model of Late Holocene Formation via Piezoelectric Initiation and Vertical Fluidic Breakdown. Preprint Series G-S 2026, V.1.0.

Peltier, J. C. (1834). Nouvelles expériences sur la calorité des courants électriques. *Annales de Chimie et de Physique*, 56, 371-386.

Reimer, P. J., et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55,000 cal BP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757.

Langel, R. A., & Hinze, W. J. (1998). *The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere: The Satellite Perspective*. Cambridge University Press.

Diels, L., Van der Lelie, D., & Bastiaens, L. (2002). New developments in electro-pumping and electro-osmosis for soil remediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 74(1-3), 143-151.

Alfvén, H. (1981). *Cosmic Plasma*. Astrophysics and Space Science Library, Vol. 82. D. Reidel Publishing Company.

Beer, J., McCracken, K. G., & von Steiger, R. (2012). *Cosmogenic Radionuclides: Theory and Applications in the Terrestrial and Space Environments*. Springer Berlin Heidelberg.

