

V. KATTAI

**ПРИРОДА ЛИНЗ ТВЕРДЫХ БИТУМОВ
В НИЖНЕ-ПАЛЕОЗОЙСКИХ
ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЭСТОНИИ**

**V. KATTAI**

**NATURE OF THE SOLID BITUMEN LENSES
IN THE LOWER PALAEozoic SEDIMENTARY ROCKS
IN NORTHERN ESTONIA**

Project nr. 357
"Organics and mineral deposits"

Первые находки твердого природного битума (ТБ) в Эстонии были сделаны еще в середине прошлого века [1, 2].

В промышленной залежи горючих сланцев-кукерситов Прибалтийского бассейна небольшие включения ТБ известны уже с 30-х гг. [3, 4]. Они в основном приурочены к слоям кукерсита В, С и Е — зафиксировано 11 находок. Известен также случай наличия ТБ в прослое известняка D/C. Кроме того, находки ТБ имеются в районе Северо-Эстонского глинта: в лонговаских глинах нижнего кембрия (E_1ln) — две находки, в глауконитовых песчаниках латорпского (O_1lt) горизонта нижнего ордовика, — две и в известняках ласнамягского горизонта (O_1ls) среднего ордовика — одна [5]. На смежной с Эстонией территории Ленинградской области России в ряде карьеров и обнажений они обнаружены в глауконитовых известняках волховского (O_1vl) горизонта — три находки [6, 7] (рис. 1).

Таким образом, ТБ на севере Прибалтики отмечены в различных фациальных типах пород (глина, песчаник, известняк, кукерсит) в возрастном диапазоне от нижнего кембрия до среднего ордовика. Для всех стратиграфических уровней характерна однообразная форма нахождения ТБ в геологическом разрезе — плоские, слабо выпуклые кверху (лепешковидные) линзы, залегающие согласно со слоистостью породы и имеющие соотношение диаметра и мощности в среднем примерно 10 : : (1-2) (рисунки 2 и 3). Преобладающие размеры линз (10—30) × (2—5) см. Только в глауконитовом песчанике (O_1lt) в Северо-Эстонском глинте рядом с линзой было обнаружено включение округлой формы диаметром 7 см со следами истирания и обкатки на поверхности [8].

ТБ представлен блестящим, легко измельчаемым углеподобным веществом, которое практически полностью растворяется в хлороформе. Твердость его по шкале Мооса 2-3, плотность 1,1—1,26 г/см³, температура плавления +275 °С. Содержание минеральных компонентов (в основном SiO_2 и Al_2O_3) незначительное — до 5—7 %. Зола обогащена микроэлементами Cu, Co, Ni, V, Mo, Zn, Pb [5, 9].

Во всех известных случаях границы раздела между битумом и вмещающей породой четкие, резкие. Видимых изменений в разрезе,



Рис. 1. Схема распространения линз твердых битумов в Северной Прибалтике: 1 — пункты находок линз твердых битумов; 2 — нефтяные месторождения Балтийской синеклизы; 3 — районы распространения линз твердых битумов в Карелии (I), в Центральной Швеции (II).

Fig. 1. Distribution of solid bitumen lenses in the Northern Baltic area: 1 — appearances of bitumen lenses; 2 — oil deposits in the Baltic syncline; 3 — distribution areas of bitumen lenses in Karelia (I) and Central Sweden (II).

наличия дислокации, путей миграции битумов не замечено. В кукерсите вблизи контакта иногда имеется тонкая (несколько миллиметров) каемка темно-коричневого цвета и отмечается мелкие (до 1 мм) черные вкрапления ТБ в кавернах. В самой линзе в единичном случае отмечен тонкий прослой неизмененного кукерсита — возможно, заполнение трещины. По составу высококонцентрированный ТБ относится к классу асфальтитов подклассу грээмитов [10—12].

Состав и свойства ТБ, продуктов его экстракции и термической деструкции изучали многие исследователи, однако природа этих своеобразных образований остается дискуссионной.

Б. Досс [13] и Х. Скубин [14] связывали образование известных в то время линз ТБ только в отложениях кембрия и нижнего ордовика с естественной возгонкой органического вещества (ОВ) в пласте диктионемовых сланцев нижнего ордовика.

П. Когерман [4] полагал, что линза ТБ в кукерситах образовалась *in situ* и исходное ОВ вследствие биохимических процессов дифференцировалось на битум и кероген уже на начальной стадии диагенеза.

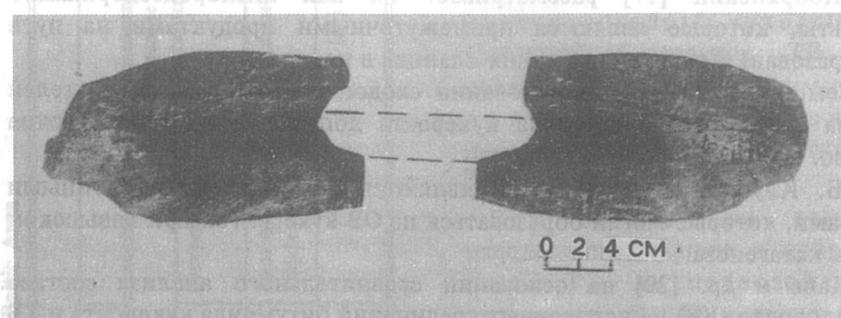


Рис. 2. Линза твердого битума в слое кукерсита промышленной пачки Эстонского месторождения (карьер Кютте-Йыуд)

Fig. 2. Solid bitumen lense in the kukersite seam of the commercial bed of the so-called "Estonian" deposit (the Kütte-Jöud openpit).



Рис. 3. Плоская линза твердого битума в прослое известняка "плита" промышленной пачки Ленинградского месторождения кукерсита (шахта №3). Светлый тон — известняк, серый — кукерсит, черный — асфальтит

Fig. 3. Planar solid bitumen lense in limestone seam in the commercial bed of the Leningrad kukersite deposit (mine No. 3). Light tone — limestone, grey — kukersite, black — asphaltite.

Н. Орлов и др. [15] высказывают по поводу происхождения линз битума два предположения: это (1) остатки пережатой и разорванной асфальтовой жилы или (2) продукт переотложения размывавшихся древних асфальтовых жил.

И. Гольдберг [16] считает, что наличие галек чистого битума в кембрийских и ордовикских отложениях Прибалтики указывает на следы разрушения древних залежей нефти.

А. Добрянский [17] рассматривает их как кислородсодержащие асфальты, которые являются промежуточными продуктами на пути преобразования керогена горючих сланцев в нефть.

С. Семенов и др. [18] на основании сходства некоторых показателей состава асфальтита и керогена кукерсита допускают их генетическое родство.

По Б. Клубову и др. [19], ТБ являются первично миграционными битумами, которые могли образоваться из ОВ кукерситов при невысокой стадии катагенеза.

Р. Пайс и др. [20] на основании сравнительного анализа состава углеводородов (УВ) и кислородных соединений битумоида кукерсита и ТБ пришли к заключению, что последний представляет собой высокопревращенное ОВ, имеющее иное происхождение, нежели кукерсит, и является продуктом не окисления и катагенеза, но, вероятнее всего, жизнедеятельности бактерий.

Основываясь на различиях в составе и свойствах продуктов экстракции, термической деструкции и минеральных компонентов ТБ и кукерсита, В. Каттай и др. [9] считают, что предположения о их генетической связи недостаточно обоснованы.

Большинство исследователей [6—8, 21—24] склонны полагать, что линзы ТБ являются инородными телами, привнесенными потоками воды в бассейн седиментации извне.

Л. Станкевич [24] считает, что ставший асфальтитом полужидкий битум был, возможно, привнесен из диктионемовых сланцев, выходивших на поверхность как на западе, в Скандинавии, так и на востоке.

Е. Люткевич и др. [6, 7] полагают, что линзы ТБ могли образоваться из нефти в более древних породах, выходы которых имелись у берегов кембро-ордовикского моря. Поскольку нижележащими углеродистыми породами, по их мнению, являются только шунгитовые сланцы протерозойского возраста Карелии, то они и могли быть их источником.

Л. Паасикиви и др. [23] считают, что асфальтиты имеют несомненную генетическую связь с нефтью, мигрировавшей из глубинных частей Балтийской синеклизы в мелководную зону моря и захороненную там вместе с осадком. Предполагается, что их источником являются битуминозные сланцы кембрия.

По мнению Н. Кудрявцева [22] и В. Успенского и др. [10], включения ТБ в кембрийских и ордовикских толщах имеют вторичную природу и их образование не связано с отложениями, в которых они находятся. Они могли быть привнесены из Скандинавии, где среди отложений палеозоя известны разнообразные включения битума.

Л. Прокофьева [25] считает, что линзы битумов могут являться продуктами фоссилизации высокоорганизованных растений (фитобентос, морская трава), т. е. это гумусовый(?) уголь.

Многосторонние геохимические исследования ТБ, кукерсита и нефти Балтийской синеклизы, выполненные в последние годы в Институте химии АН Эстонии, показали, что по надмолекулярной структуре и свойствам ТБ отличны от битумоида и керогена кукерсита и ближе к нефтям. Это позволило Е. Бондарь и др. [26] предположить, что нефтяные битумы, которые широко распространены в южной части синеклизы в отложениях от кембрийского до силурийского возраста, могли быть транспортированы

Гипотезы происхождения линз твердых битумов в палеозойских отложениях Северной Прибалтики
Hypotheses of Solid Bitumen Lenses Origin in Palaeozoic Sedimentary Rocks of Northern Baltic Area

Происхождение	Органическое включение				Сингенетическое				Высыпание
	Эпигенетическое (миграционное)		Аллогенное		Аутогенное				
Исходный материал	кукерсита	диктионемового сланца	кварцевых сланцев	шунгитов	диктионемовых сланцев	кукерсита			растения
Процессы	Катагенез, генерация УВ, миграция		Катагенез, генерация УВ, гипергенез, разрыв, перерождение			Биохимическая дифференциация			Катагенез
Источник информации	[18, 19]	[13, 14]	[23]	[10, 22, 26]	[6, 7]	[24]	[4, 17]	[25]	

оттуда водным потоком вместе с протокерогеном кукерсита. Поэтому образование ТБ не является пирогенетическим, но произошло за счет деасфальтизации нефтей легкими УВ.

Как следует из вышеизложенного, вопрос о природе линз ТБ в палеозойских отложениях Эстонии трактуется по-разному. Одна часть исследователей рассматривает их как эпигенетические миграционные образования, другая — как сингенетические. Расходятся представления и об исходном материале битума и процессах, приводящих к их образованию (таблица).

Прежде чем начать критический разбор существующих гипотез, следует кратко остановиться на результатах обобщения материалов о распространении аналогичных битумопроявлений в других регионах. Как показал анализ, находки линз высококонцентрированного ТБ в осадочных толщах — весьма редкое явление. В доступных автору публикациях все ссылки в основном ограничиваются тремя районами: Центральная Швеция, Южная Карелия и район Мертвого моря [11, 12, 22, 27 и др.]

В кварцевых сланцах средневерхнекембрийского возраста в Центральной Швеции (Биллинген, Вястерготланд, Нярке) известны многочисленные находки линз ТБ мощностью от 2—3 до 15—18 см [22, 28, 29]. По степени преобразованности эти битумы классифицируются как кериты. По внешнему виду и составу выделяют два типа ТБ. Один

весьма напоминает наши асфальты — блестящий, хрупкий, антрацитоподобный. Зольность его низкая — до 5 %. В золе повышена концентрация ванадия (V_2O_5 — 3—5 %).

Другой тип битума, так наз. "колым", имеет большую зольность — до 30 % и внешне более схож с матовыми сапропелевыми углами — богедами. В золе его повышено содержание урана (1—3 %). Предполагается, что указанные ТБ являются преобразованными нефтями, но источник их генерации был различным.

Севернее и северо-западнее Онежского озера в Карелии в углеродсодержащих протерозойских породах (шунгиты) широко развиты мелкие линзы высокометаморфизованного ТБ, так наз. шунгита-1 (по составу — высший антраксолит).

Большинство исследователей [30—32] признают биогенную (сапропелевую) природу происхождения углеродистого (шунгитового) материала в мощной толще осадочно-вулканогенных пород, слагающих ядро Онежской мульды. Высказано предположение [33] и об abiогенном его происхождении как результате мантийного магматизма и глубинной дегазации.

Линзы высококонцентрированного шунгита-1 (ОВ > 98 %) рассматриваются как продукты генерации, миграции и переотложения нефти, образовавшейся в результате теплового воздействия силл габбро-диабазов на ОВ шунгитовых пород. И. Волкова и др. [32], однако, полагают, что это уголь, причем не сапропелевый, а даже гумусовый.

В настоящее время в бассейне Мертвого моря блоки асфальта различных размеров плавают на поверхности, накапливаются на берегу или на дне моря. В геологическом разрезе линзы битумов встречаются в отложениях от палеозойских до современных [34]. Происхождение этих битумов спорное — или это "недозрелая" нефть или продукты ее деградации. Большинство исследователей склонны полагать, что это нефть, которая периодически (пульсационно) просачивается из глубоко расположенных ловушек в рифтовой зоне при активизации тектонической деятельности, а источником ее могут быть битуминозные породы мелового возраста западного побережья Мертвого моря [35].

В литературе есть данные [10, 15, 36] о нахождении линз битума в море и на побережье Мексиканского залива, в озерах Байкал, Танганьика и в некоторых других местах развития рифтовых зон. Их образование здесь связывают с подводными излияниями УВ.

Таким образом, природа линз ТБ в других регионах также трактуется многозначно, но, как правило, считается, что источник их генерации расположен в непосредственной близости от места их распространения.

Ниже рассмотрены основные факторы, которые подтверждают, предполагают или отвергают возможности того или иного пути образования линз ТБ в нижнепалеозойских отложениях Эстонии. Так, эпигенетический миграционный путь природы линз ТБ отрицают следующие моменты:

- различие в составе и свойствах ТБ и органического вещества его потенциальных источников в нижнепалеозойских отложениях региона;
- недостаточная термическая "зрелость" ОВ кукерситов и диктионемовых сланцев для генерации УВ (стадия катагенеза ПК₂);
- отсутствие следов миграции битумов в разрезе;

— невозможность образования только однообразных по форме пустот (линзообразных) в различных по составу и физическим свойствам породах;

— затрудненность глубинной миграции УВ через флюидоупорную толщу пластичных глин нижнего кембра.

Весьма сомнительной является и возможность миграции нефти с юго-западной, наиболее погруженной части Балтийской синеклизы, поскольку начало ее генерации предположительно относят не ранее чем к позднему силуру. Кроме того, в нефтеносных районах редко наблюдаются скопления ТБ в виде правильных линз чистого битума. Чаще они насыщают пористые породы, заполняют трещины и пустоты различных форм и размеров [12, 16]. Подобную картину можно наблюдать и в Западной Эстонии, особенно на о. Хийумаа [5, 37].

Предположение об их сингенетическом аутогенном образовании как линз угля не подтверждается полной растворимостью вещества в органических растворителях.

Возможность их образования *in situ* путем термической деструкции ОВ или биохимическим путем трудно представима, поскольку в глинах E_1In , песчаниках O_1It и в известняках O_1vI и O_2Is породы, обогащенные ОВ, не известны. Только кукерситы обладают достаточным нефтегенерационным потенциалом для образования в них линз битумов. Однако, как уже отмечалось, различие в составе и свойствах продуктов экстракции, термической деструкции и минеральной части ТБ и кукерсита и различная термическая зрелость их ОВ не позволяют согласиться с таким предположением.

Гипотеза о сингенетическом аллотигенном происхождении линз ТБ, то есть представление о них как о привнесенных морскими течениями извне уже в готовом виде, выглядит наиболее приемлемой.

Существует общее представление о том, что попавшая в море нефть (при подводном излиянии, размыте нефтяной залежи) изменяется в результате испарения (улетучивания) легких фракций УВ, выноса (вымывания) водорастворимых соединений, окисления (химической деградации), полимеризации и био-(микробной)деградации [38]. Нефть густеет, теряет плавучесть и погружается на дно в виде плоской залежи — захороняется или в дальнейшем, возможно, снова размывается и переотлагается. При изучении загрязнения морских вод установлено, что излившаяся в море нефть довольно быстро — уже в первые годы — начинает проявлять признаки полимеризации УВ и окисления [39].

В пользу аллотигенного происхождения линз битумов, отложившихся уже в достаточно твердом состоянии, свидетельствуют следующие факторы:

- единообразие формы: плоская, слабо выпуклая сверху и тупо выклинивающаяся линза;
- нахождение в песчанике рядом с линзой включений ТБ округлой формы со следами истирания и обкатки;
- обнаружение линзы битума в известняке на пиритизированной поверхности перерыва седиментации;
- резкие контакты с и иногда нахождение в битуме прожилок неизмененных вмещающих пород (несмешивающиеся осадки);

— скапливание по выклиниванию линзы ТБ во вмещающей породе (кукерсит) наиболее крупного детрита при полном отсутствии фаунистических остатков в самом битуме.

Однообразие форм нахождения ТБ и близость их вещественного состава в различных по возрасту и составу отложениях позволяют преположить единство их происхождения. Однако неизвестно, где мог находиться этот древний и достаточно близкий источник, который в течение почти 200 млн. лет периодически генерировал УВ.

Высказаны предположения о том, что источником этого битума могли быть средне-верхнекембрийские квасцевые сланцы Швеции или протерозойские шунгиты Карелии.

Но генерация нефти в Балтийской Синеклизе происходила не ранее позднего силура, а в Центральной Швеции ее образование связывают с интрузиями пермо-карбонового возраста. Следовательно, размыва залежей нефти в кембро-ордовикское время здесь еще происходить не могло. Кроме того, по палеогеографическим реконструкциям, эти районы в E_1In и O_1It время не были покрыты морем [40].

Что касается шунгитов Карелии, то береговая линия палеоморей в E_1 , O_1 и O_2 существенно менялась и не всегда совпадала с районом развития шунгитов. Считается [41, 42], что в ранне- и среднеордовикское время гидродинамика в Балтийском бассейне сохранялась и течения были устойчивыми, однодirectionalными вдоль береговой линии с запада на восток, поэтому привнос битумных линз с востока сомнителен.

Поскольку все находки линз ТБ в Эстонии и на смежной с ней территории Ленинградской области тяготеют к побережью Финского залива, то источник их генерации мог находиться здесь же, где-то в непосредственной близости.

По данным В. Петерселя и др. (геологический отчет, 1982), в Северной Эстонии довольно широко развиты породы так наз. черносланцевой формации — графитовые и графитсодержащие гнейсы протерозойского возраста с содержанием графита от 1 до 15 %. По мнению указанных авторов, эти породы распространены в виде субширотной полосы, приуроченной к тектонической зоне глубинного заложения, расположение которой предполагается в южной части Финского залива. В составе пород существенную роль играет вулканический материал, отмечается повышенная концентрация Cu, Mo, Zn, V, Co, Ni (от 2-кратной до 10-кратной кларку) в осадочных породах [43]; характерны проявления базальтового магматизма. На возможное наличие субширотных зон нарушений в Финском заливе указывалось и ранее [44—46].

По данным А. Никонова и др. [47], эта полоса, которая представляет собой переходную зону от Фенноскандинавского щита к Восточно-Европейской платформе, характеризуется наибольшей сейсмической активностью. Здесь, на северном побережье Эстонии и на ряде островов (Кери, Прангли и др.), известно множество проявлений метана [48]. При газобиохимических исследованиях в Балтийском море были выявлены газовые кратеры [49], из которых и в настоящее время поступают потоки газовых флюидов (CO_2 , H_2 , N_2 , CH_4). На миграцию углеводородного газа по глубинным тектоническим нарушениям неоднократно указывал и П. Сёдерберг [50, 51].

В литературе имеются ссылки [22, 52] на целый ряд находок проявлений жидкой нефти, вязкого и твердого битума на Фенноскандинавском щите без их всякой видимой связи с осадочными породами: в архейских породах на железорудных месторождениях Моссгрюван, Гренгесберг и др. (Швеция), в серебряных жилах в Конгсберге (Норвегия), в пегматитах в щелочных породах Хибинского plutона на Кольском полуострове и в других местах. В Эстонии, на Палукюласком поднятии Кярдласской кольцеобразной структуры, также были обнаружены твердые и вязкие битумы в кристаллических породах, причем в одной из скважин они отмечены на глубинах от 15 до 180 м, в то время как в осадочных породах в этом районе битумы вскрыты только на глубине до 50—60 м от поверхности [53].

Таким образом, можно допустить возможность генерации и вертикальной миграции флюидов УВ, исходных для образования рассматриваемых ТБ, где-то вблизи района их распространения. Однако данных для вывода об abiогенной природе УВ и образовании линз ТБ как результата прерывистых и разновременных поступлений флюидов по зонам глубинных разломов в периоды сейсмической активности недостаточно.

Рассматриваемые линзы ТБ могли образоваться и в результате растянутого во времени размыва залежи уже полутвердого или твердого битума. Кроме abiогенной природы, возможно образование битума в результате термического воздействия (магма, вулкан, гидротермы) на толщу древних (протерозойских) черных сланцев, деструкции их ОВ и генерации УВ. Интересно отметить, что в скважине Паламузе (Восточная Эстония) в мигматизированных биотитовых и силлиманит-кордиерит-биотитовых гнейсах в интервале глубин 478,6—480,2 м был вскрыт пласт графита, залегающий согласно с полосчатостью гнейсов [54]. Характерно также, что состав минеральной части ТБ и протерозойских графитовых гнейсов и геохимическая их специализация весьма сходны.

Таким образом, можно заключить, что гипотезы о сингенетическом аутигенном и эпигенетическом миграционном происхождении линз ТБ недостаточно обоснованы. Несравненно больше фактов подтверждают их аллотигенное образование. Однако привнос битумов из Карелии, Скандинавии или из южной части Балтийской синеклизы не был возможен в течение всего раннекембрийского, ранне- и среднеордовикского времени.

Предполагается, что генерация УВ, являющихся исходными для образования линз ТБ, могла происходить вблизи мест их нахождения. Высказаны две гипотезы о возможной природе УВ — как об abiогенной и как о результате битумогенеза (нафтогенеза) протерозойских черных сланцев. Имеющиеся данные пока не позволяют отдать предпочтение ни одной из них.

классификаций нового вида углеродистого сырья // Там же: 1987:88—882.
химофильтруя в аномальную хладоконтактную зону. А. Ж. Агафонов, А. Я. Каткин, Р. А. Доронин // Записки Института геологии и геофизики УрО РАН. — Екатеринбург, 2001. — №. 5. — Р. 837—844.

V. KATTAI

NATURE OF THE SOLID BITUMEN LENSES
IN THE LOWER PALAEZOIC SEDIMENTARY ROCKS
IN NORTHERN ESTONIA

In Northern Estonia small (mainly 10-30) × (2-5) cm flat solid bitumen lenses have been found in Lower Cambrian, and Lower and Middle Ordovician rocks (Fig. 1). They have been found from many facies types of sediments, in the greatest deal from kukersite oil shale (Figs. 2 and 3).

Solid bitumen in the Estonian Deposit mines is represented with a shiny coal-like substance soluble in chloroform. Its hardness is 2-3 by Mohs' scale, density 1.1-1.26 Mg/m³, melting point 275 °C. The mineral component content is low - up to 5-7 %. The ash of bitumen is rich in trace metals such as Cu, Co, Ni, V, Mo, Zn and Pb. By composition this solid bitumen belongs to the grahamite subgroup of asphaltite.

The genesis of the solid bitumen has been explained differently. Some scientists consider these to be of an epigenetic (migrational) origin, others - of a syngenetic, authigenous or allotogeneous one. Opinion about the initial material of the bitumen and the processes which caused their genesis also diverge (Table).

On the basis of publications and recent investigations we can do the following conclusions.

Majority of facts concern the allotogeneous origin of the solid bitumen lenses. Generation of the hydrocarbons might happen in a territory close to the distribution of bitumen lenses by the abiogenic way or as a result of bitumogenesis of the Proterozoic Black Shale. For the present it is impossible to prefer either of them by the existing information.

ЛИТЕРАТУРА

- Гревингк К. Нахождение коренного месторождения каменного угля в Остзейских провинциях // Горный ж. 1868. Т. 3, № 7. С. 172—174.
- Гельмерсен Г. П. О правильных трещинах в нижнесилурийском известняке Эстляндского берега, разрушение его волнами и нахождение асфальта в этой формации // Там же. 1857. Т. 2, № 4. С. 84—94.
- Kogerman P. On the oil chemistry of the Estonian oil shale "kukersite" // Eesti Loodusteaduste Arhiiv. Tartu. 1931. V. 10. No. 2.
- Kogerman P. The occurrence, nature and origin of asphaltites in limestone and oil shale deposits in Estonia // J. Inst. Petrol. Technol. 1933. V. 19. No. 113. P. 215—222.
- Каттай В., Кала Э., Сууроя К. О распространении природных битумов на территории Эстонии // Изв. АН Эстонии. Геол. 1990. Т. 39. № 3. С. 115—122.
- Люткевич Е. М., Курбатская А. П. О генезисе асфальбитовых "лепешек" и "галек" нижнего кембрия и среднего ордовика Прибалтики // Геохим. сб. 9. Москва, 1964. С. 101—111.
- Люткевич Е. М. История поисков нефти в Прибалтике и ее уроки // Нефтепоисковые критерии Прибалтики и методы их изучения. Вильнюс. 1970. С. 7—16.
- Müürisepp K. Ühest uest asfaltidileist Eestis // Eesti Loodus. 1962. Nr. 5. lk. 286—289.
- Каттай В. А., Кундель Х. А. Включения твердых битумов в кукерситах, состав и свойства этих битумов // Горючие сланцы. 1987. Т. 4, № 1. С. 22—29.
- Успенский В. А., Радченко О. А. и др. Основные пути преобразования битумов в природе и вопросы их классификации. — Ленинград, 1961.

- Успенский В. А., Радченко О. А., Глебовская Е. А. и др. Основы генетической классификации битумов. — Ленинград, 1964.
- Клубов Б. А. Природные битумы Севера. — Москва, 1983.
- Doss B. Ein Vorkommen von Grahamit im Silurkalk bei Kunda in Estland // Zbl. Miner. 1914. P. 605—615.
- Scupin H. Petroleumfrage in den baltischen Ländern // Acta Univ. Tartu. 1924. A6, 11, 13.
- Орлов Н. А., Успенский В. А. Минералогия каустобиолитов. — Москва—Ленинград, 1936.
- Гольдберг И. С. Природные битумы СССР (Закономерности формирования и размещения). — Ленинград, 1981.
- Добрянский А. Ф. Горючие сланцы СССР. — Ленинград, 1947.
- Семёнов С. С., Глушенкова Е. В., Докшина Н. Д. Исследование состава и некоторых свойств асфальтита, обнаруженного в слое сланца одной из шахт комбината "Сланцы" // Химия и технология топлива и продуктов его переработки. Москва, 1961. С. 23—28.
- Клубов Б. А., Уров К. Э. Вещественный состав и твердые битумы кулерского горизонта Прибалтийского сланцевого бассейна в свете новых данных // Горючие сланцы. 1988. Т. 5, № 1. С. 34—45.
- Пайс Р., Клеммент И., Побуль Л. Углеводороды и кислородные соединения в битумоиде сланца кулерсита // Изв. АН ЭССР. Хим. 1979. Т. 28, № 3. С. 182—190.
- Аарна А. А. Об образовании горючих сланцев Эстонского месторождения // Генезис твердых горючих ископаемых. Москва, 1959. С. 57—58.
- Кудрявцев Н. А. Нефть, газ и твердые битумы в изверженных и метаморфических породах. — Ленинград, 1959.
- Паасикиви Л. Б., Закашанский М. С. Перспективы нефтеносности Прибалтики: Обзор ВИЭМС. Вып. 35. Москва, 1965.
- Станкевич Л. Н. Новые данные по стратиграфии нижнего ордовика Русской платформы // Докл. АН СССР. 1955. Т. 105, № 2. С. 343—344.
- Прокофьева Л. М. Условия образования и преобразования горючих сланцев СССР // Геология, методы поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых. Москва, 1983. Т. 6. С. 1—14.
- Bondar E., Taal H., Bitjukov M. Solid bitumen inclusions in kukersite oil shale: structure and genesis // Oil Shale. 1993. V. 10, No. 2—3. P. 111—122.
- Гольдберг И. С. Природные битумы СССР. — Ленинград, 1981.
- Andersson A., Dahlman B. The Scandinavian Alum Shale. — Uppsala, 1985.
- Schreiter R. Kambro-Silursche "Kohlen" von Västergötland // Sweden Z. D. Deutsch. Geol. Gesellschaft, 1931. V. 88, п. 9. P. 635—641.
- Мишунина З. А., Корсакова А. Г. Геохимия керогена графитоидных и шунгитовых сланцев и карбонатов протерозоя Южной Карелии // Советская геология, 1977. Т. 3. С. 40—54.
- Соколов В. А., Калинин Ю. К. и др. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования. — Петрозаводск, 1975.
- Волкова И. Б., Богданова М. В. Шунгиты Карелии // Сов. геол. 1985. Т. 10. С. 93—100.
- Иванкин П. Ф., Галдобина Л. П. и др. Шунгиты: проблемы генезиса и классификации нового вида углеродистого сырья // Там же. 1987. Т. 12. С. 40—47.
- Nissenbaum A. Dead Sea asphalts. Historical aspects // Bull. AAPG. 1978. V. 66, No. 5. P. 837—844.
- Nissenbaum A., Goldberg M. Asphalts, heavy oils, ozocerites and gases in the Dead Sea basin // Org. Geochem. 1980. V. 2, No. 3—4. P. 167—180.

36. Хант Дж. Геохимия и геология нефти. — Москва, 1982.

37. Каттай В., Клубов Б. и др. Новые данные о битумоносности нижнепалеозойских отложений о-ва Хийумаа // Изв. АН Эстонии. Геол. 1992. Т. 41, № 2. С. 73—80.

38. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. — Москва, 1981.

39. Ильин В. Д., Клещев К. А. и др. Формации горючих сланцев в зоне катагенеза и метаморфизма — важный регион альных источников углеводородов: Обзор ВИЭМС. — Москва, 1986.

40. Пуура В. А., Менс К. М. и др. Палеотектоника и фации Балтийского бассейна в кембрии и во время ордовикского фосфорито-кукерситонакопления // Тектоника, фации и формации запада Восточно-Европейской платформы. Минск, 1987. С. 74—86.

41. Мянниль Р. М. История развития Балтийского бассейна в ордовике. — Таллинн, 1966.

42. Пуура В. Проблема генезиса бассейнов горючих сланцев и фосфоритов Прибалтики // Академия наук Эстонской ССР 1980—1985. Таллинн, 1986. С. 229—236.

43. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия, 1962. С. 555—565.

44. Волколаков Ф. К. Палеотектоническая характеристика Балтийской синеклизы в додевонское время // Проблемы региональной геологии Прибалтики и Белоруссии. Рига, 1973. С. 229—234.

45. Волколаков Ф. К., Афанасьев Б. Л. Тектоника Балтийской синеклизы (Объяснительная записка к тектонической карте Балтийской синеклизы м-б 1 : 2 500 000) // Региональная геология Прибалтики. Рига, 1974. С. 136—144.

46. Валсев Р. Н. Авлакогены Восточно-Европейской платформы. — Москва, 1978.

47. Никонов А., Сильдээ Х. Землетрясения в Эстонии и их сейсмотектоническая позиция // Изв. АН ЭССР. Геол. 1988. Т. 37, № 3. С. 127—141.

48. Kattai, V., Pihlak, A. Maagaasi ilmingutest Eestis // EGK toimetised. 1993. 3/1. lk. 40-47.

49. Геодекян А. А., Авилов В. И. и др. Газобиогеохимические исследования газовых кратеров и акустических аномалий Балтийского моря // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299, № 2. С. 449—453.

50. Söderberg P. Seismic stratigraphy, tectonics and gas migration in the Åland Sea, northern Baltic Proper // Stockholm Contributions in Geology. 1993. V. 43, No. 1. P. 1—67.

51. Söderberg P., Flodén T. Gas seepages, gas eruptions and degassing structures in the seafloor along the Strömma tectonic lineament in the crystalline Stockholm Archipelago, east Sweden // Continental Shelf Research. 1992. V. 12. P. 1157—1171.

52. Бескровный Н. С. Нефтяные битумы и углеводородные газы как спутники гидротермальной деятельности. — Москва, 1967.

53. Кала Э., Пуура В., Сууроя К. Главные черты строения Кирдалаского погребенного кратера // Изв. АН ЭССР. Геол. 1984. Т. 33, № 1. С. 1—7.

54. Кырвел В. Графит в кристаллическом фундаменте Эстонской ССР // Изв. АН ЭССР. Хим. Геол. 1971. Т. 20, № 2. С. 176—177.

Рукописная работа

Ученая работа
Петерсель В., Пылдвере А. и др. О вещественном составе и потенциальной радиоактивности черноланцевой формации Северной Эстонии. Таллинн, 1982 (рукопись).

*Институт геологии
Академии наук Эстонии
Таллинн, Эстония*

Estonian Academy of Sciences,
Institute of Geology
Tallinn, Estonia

Представил А. Раукас
Поступила в редакцию
8.02.94

Presented by A. Raukas
Received February 8, 1994