

<https://doi.org/10.3176/oil.1985.3.07>

УДК 622.822.22 : 552.578.3

А. А. ПИХЛАК

ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ САМОВОЗГОРАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ЭСТОНИИ

ПЕРВЫЙ ПЕРИОД (1791—1917 гг.)

Исследования процессов самовозгорания горючих сланцев начались вскоре после открытия в конце XVIII в. явления самовозгораемости материалов. В 1791 г. академик Иоган-Готтлиб Георги впервые указал на возможность возникновения подземных пожаров из-за самовозгорания эстонских горючих сланцев [1]. По свидетельству профессора Гагена из Кенигсберга [2], И.-Г. Георги был первым ученым, который на современном для того времени уровне исследовал самовозгораемость различных материалов. Эти исследования были начаты в 1781 г. в связи с пожаром, возникшим в Кронштадте на военном фрегате «Мария». И.-Г. Георги удалось установить, что пожар был вызван не поджогом, а самовозгоранием сажи. Он доказал также, что кроме сажи могут самовозгораться мука, ячменная крупа, горох, бобы, не вполне пережаренный кофе, мокрое сено, жирная шерсть и корабельные канаты и что для начала процесса достаточно небольшого притока кислорода к окисляющемуся материалу. Хорошая теплоизоляция, равно как и повышенная температура окружающей среды, способствуют развитию процесса. Ученым была установлена даже критическая температура самовозгорания исследованных материалов — 30°R (37,5°C) [2].

Таким образом, Петербургская академия наук стала первым в мире научным учреждением, проводившим еще в конце XVIII в. серьезные научные исследования процесса самовозгорания и обратившим в связи с этим внимание на эстонские горючие сланцы. Хотя у И.-Г. Георги нашлись последователи и в других странах [2], научный уровень исследований оставался там долгое время низким. Это видно хотя бы из того, что еще в мае 1828 г. Парижская академия наук сочла возможным заслушать псевдонаучный доклад Юлия Фонтенеля о самосторании людей от злоупотребления спиртными напитками [3]. Великому немецкому химику Юстусу Либиху пришлось выступать против таких нелепых утверждений на страницах научных журналов еще в 40-е гг. прошлого века [4].

Предположение И.-Г. Георги о возможности самовозгорания горючего сланца, видимо, основывалось на аналогии, поскольку ученый вначале установил, что пропитанные маслами вещества легко самовозгораются. Кроме того, он скорее всего был знаком с сообщением академика П. С. Палласа о подземном угольном пожаре, обнаруженном на Урале вблизи р. Юрюзань в 1770 г. [5].

Предположение И.-Г. Георги недолго оставалось чисто теоретическим рассуждением. В 1807 г. загорелись диктионемовые сланцы в Эстонии — на выходе пласта вблизи маяка Сууроупи (ныне — Сууроупи) в 22 верстах западнее г. Ревеля (ныне — г. Таллина). В январе 1808 г. Петербургская академия наук командировала академика В. М. Севергина для изучения этого явления. В связи с этим необходимо отметить, что недавно в печати появилась статья Г. Густавсона [6], в которой ошибочно утверждается, что сланцевый пожар у

маяка Суурупи открыл и первым описал Х. Шлегель. При внимательном ознакомлении с его трудом [7] автор установил, что ученый не был в Суурупи. В приложении к своим путевым запискам Х. Шлегель приводит реферат статьи В. М. Севергина, опубликованной в «Технологическом журнале» [8].

Согласно описаниям В. М. Севергина, в Суурупи горели диктионемовые сланцы, обрушившиеся из обнажения пласта на крутом уступе глинта. Горящее место, лишенное снежного покрова, имело 70 шагов в окружности, было покрыто красными плитами обгорелого сланца и дымилось. Для предотвращения распространения пожара его окружили глубоким рвом. Температура в очаге была высокой. При копании появлялись искры, лопата накалялась, тлели корни растений. Породы, окружающие горящий сланец, были разогреты. Весьма интересно следующее замечание В. М. Севергина: «Растения на горе суть сей стране общие. Примечают только, что *онье растут здесь спешнее и тучнее, нежели в других местах*. Примечают также, что *от жару сего места распространяется теплота на великое расстояние, и даже до самого Ревеля*» (курсив автора — А. П.) [8]. Быстрый рост и «тучность» растений, описанные ученым, можно объяснить повышенным содержанием калия и ряда микроэлементов в диктионемовых сланцах [9]. Попытки использовать сланцы в качестве удобрения или компонента искусственных почв были предприняты еще Г. П. Гельмерсенем в 1838 г. [10] и продолжены в разное время многими исследователями. Они не прекращаются до сих пор [11], хотя практических результатов пока не дали. С другой стороны, развитию растительности может способствовать умеренный прогрев почвы на стадии самонагревания сланца.

Утверждение В. М. Севергина о том, что тепло от очага горения распространялось в породах на 22 версты до Таллина ошибочно. Однако его можно объяснить тем, что вдоль выхода пласта диктионемовых сланцев от мыса Суурупи до Таллина имелось много точек самонагревания сланца. Это явление В. М. Севергин и принял за прогрев пород от известного ему очага пожара. Ученый считал, что пожар в Суурупи возник из-за неосторожного обращения пастухов с огнем. Наличие же многочисленных очагов самонагревания под глинтом позволяет нам утверждать, что В. М. Севергин ошибся в определении причин пожара. В действительности он наблюдал именно очаг самовозгорания диктионемового сланца.

В. М. Севергин подчеркивал значительное сходство между сланцевым пожаром в Суурупи и другими известными в то время подземными пожарами, происшедшими от самовозгорания углей, — на р. Юрюзань на Урале, в Кразансе и Рок-Бедаре во Франции, в Дувейлере в Саарбрюккене (Германия), а также в Шлашницких и Сельницких горах в Польше. Исходя из этого, В. М. Севергин делает правильный вывод о том, что «земные пожары бывают только в каменноугольных и шифера флецах и загораются случайно, от неосторожности жителей, либо от громовых ударов, *либо иногда от разгорячения колчеданов*» (курсив автора — А. П.) [8]. Последнее показывает, что в объяснении самовозгорания углей и сланца В. М. Севергин исходил из пиритной теории. Это весьма существенно, так как выдвижение этой теории иногда относят к более позднему времени, приписывая ее авторство Ю. Либиху. Г. Л. Стадников [12], И. М. Печук и В. М. Маевская [13] убедительно доказали неверность такого мнения. Эти исследователи предполагают, что пиритная теория выдвинута в начале XVII в. Однако есть основания отнести эту дату к более ранней эпохе, поскольку уже Георг Агрикола в XVI в. указывал на разогревание пород у выходов скрытых под наносами сульфидных жил как на один из поисковых признаков их обнаружения [14]. Следует

отметить исключительную живучесть пиритной теории. Несмотря на то, что уже в XIX в. стало ясно, что самовозгораются также угли, не содержащие пирита, к ней время от времени возвращаются и в XX в.

Очередной случай самопроизвольного горения диктионемовых сланцев в окрестностях Таллина наблюдал в 20-е гг. Христиан-Генрих Пандер [15]. К сожалению, увлекавшийся палеонтологией Х.-Г. Пандер не указал ни точного местонахождения, ни даты обнаружения очага горения. Он только сообщает, что горение длилось долгое время и распространилось на большой площади. Более подробно ученых описывает вид обгоревших кусков сланца, в которых он тщетно искал следы окаменелостей. Отметим, что такой же обгоревший сланец Х.-Г. Пандер обнаружил в местах гляциально-тектонических нарушений сланцевого пласта вблизи Петербурга — на выходах пласта по долинам рек Поповка, Пулковка, Кошелевка и Ижора. Следовательно, и эти районы были подвержены подземным пожарам, вызванным самовозгоранием диктионемового сланца.

В начале 1838 г. на мызах Толкс — Тоолсе) барона Врангеля и Фалл (ныне — Кейла-Йоа) графа Бенкендорфа были обнаружены выходы горючих горных пород. Об этом было доложено министру финансов графу Канкрену, который дал задание Г. П. Гельмерсену их обследовать [10, 16]. Первой горючей породой оказался сланец-кукерсит. Его горючесть обнаружили, когда загорелся очаг, сложенный крестьянами из кусков сланца. А вот что привлекало внимание к диктионемовому сланцу в Кейла-Йоа — неясно. Возможно, самовозгорание сланца на выходах породы в Кейла-Йоа. Такого мнения придерживаются А. Таммеканн [17] и А. Луха [18]. Г. П. Гельмерсен этот вопрос обходит молчанием. В своих отчетах он рассматривает только результаты геологических и технологических исследований обоих видов сланца [10, 16]. Поэтому у нас нет веских оснований считать Г. П. Гельмерсена исследователем самовозгорания сланца.

Во многих работах ошибочно ссылаются на Х.-Л. фон Буха как на исследователя самовозгорания диктионемового сланца [17—19]. Член Берлинской и Парижской академий наук Христиан-Леопольд фон Бух (1774—1853) был выдающимся геологом своего времени, но Эстонии никогда не посещал и изучением самовозгорания сланцев не занимался. Однако он описал присланную ему коллекцию камней генерала Чевкина, в которой были и образцы диктионемовых сланцев. В связи с ними Х.-Л. фон Бух упоминает Х.-Г. Пандера и замечает, что эти сланцы горели вблизи Таллина под землей в течение нескольких лет [20]. Кроме этого краткого замечания, других упоминаний в трудах Х.-Л. фон Буха о самовозгорании диктионемовых сланцев нет.

В 1841 г. Э. Эйхвальд наблюдал горение диктионемовых сланцев в восточной части о-ва Малый Рого (ныне — Вяйке-Пакри) [21]. Здесь выходы диктионемовых сланцев на подводном береговом склоне представляют собой морское дно. Штормовое волнение разбивает сланец и выбрасывает его пластины на сушу, где они образуют береговые валы в галечной зоне [22]. По описанию Э. Эйхвальда, сланец самовозгорелся в береговом валу и горел в течение нескольких месяцев. Даже сильные дожди не смогли потушить пожар. Э. Эйхвальд первым отметил выделение кристаллов самородной серы между кусками сланца вблизи очагов горения. О высокой температуре в береговом валу свидетельствовало появление пламени при рыхлении сланца палкой. Современные температурные наблюдения на горящих породных отвалах, содержащих диктионемовые сланцы (карьер Маардуского фосфоритового рудника), подтверждают возможность повышения температуры до 500°C и выше [23]. Пламя в очагах горения

обычно не наблюдается. Наблюдавшееся Э. Эйхвальдом пламя появилось, видимо, от загорания палки, которой он рыл сланцы.

Вторично береговые валы на о-ве Вяйке-Пакри самовозгорелись в начале 60-х гг. XIX в. Пожар длился несколько лет и был обнаружен академиком Ф. Шмидтом в 1864 г. Об этом факте нам известно из сообщения А. Миквица [24], который ссылался на устное описание пожара Ф. Шмидтом. Сам академик в своих работах о пожаре не упоминает.

На противоположном о-ву Вяйке-Пакри берегу залива, у города Балтийский порт (ныне — Палдиски) диктионемовые сланцы загорелись осенью 1909 г. А. Миквиц обследовал этот пожар и сообщил, что самовозгорание произошло в береговом валу (высота 1 м) [24]. Рыхло сложенные куски сланца, перемешанные с кусками известняка, были раскалены так, что положенная в углубление бумага вспыхнула (температура возгорания бумаги 238—365°C [26]). Раскаленные куски сланца с шумом растрескивались, но пламени видно не было. Чувствовался характерный запах продуктов перегонки сланца. Несмотря на высокую температуру, обжига кусков известняка в береговом валу не произошло. Самовозгорание сланца А. Миквиц объясняет с позиции пиритной теории — как следствие экзотермического разложения пиритных включений в сланце [24].

По данным Г. фон Винклера, который продолжал наблюдения, пожар продолжался до 15 декабря 1909 г., пока не был потушен сильным штормовым прибоем [19]. Это был последний из известных нам случаев самовозгорания диктионемовых сланцев в естественных скоплениях. В 1917 г. в Харку загорелся сланец в отвале пород, выброшенных при проходке тоннеля. Это был первый в Эстонии сланцевый пожар, обусловленный технологическими причинами [19]. Им и заканчивается первый период исследования самовозгорания эстонских сланцев. Наступает более чем тридцатилетний перерыв.

Изучение самовозгорания возобновили после Великой Отечественной войны в связи с широким развитием добычи и переработки сланца-кукерсита, быстрым ростом породных отвалов и их самовозгоранием. Однако это тема отдельного исследования.

Несмотря на фрагментарность наследия, оставленного нам первыми исследователями самовозгорания эстонских диктионемовых сланцев, мы попытаемся интерпретировать его с современных позиций. Считают, что самовозгорание углей, углистых и битуминозных пород и сульфидных руд может возникать только при следующих условиях [27]:

— скопление активного по отношению к кислороду воздуха материала;

— достаточное для развития процесса окисления поступление кислорода в это скопление;

— соответствующие условия теплообмена (количество генерируемого при окислении тепла больше его рассеивания в окружающую среду). С этих позиций мы и рассмотрим описанные выше случаи самовозгорания сланца.

Места, в которых происходили эндогенные пожары, вызванные самовозгоранием диктионемового сланца в естественных скоплениях, расположены на узкой полосе вдоль берега моря между Таллином и островами Суур- и Вяйке-Пакри у выходов сланцевого пласта на уступе глинта. На рассматриваемом участке диктионемовые сланцы (тюрисалуская пачка А_{IT} пакерортского горизонта нижнего ордовика) имеют максимальную мощность пласта до 5—7 м и более [28, 29] и наивысшую среднюю теплотворную способность (рис. 1). Как нам известно, небольшого скопления в береговом валу

высотой 1 м оказалось достаточно, чтобы обеспечить условия теплообмена, благоприятные для развития процесса самонагревания сланца. Следовательно, при обрушении части диктионемового пласта мощностью 5—7 м на уступе глинта могут образоваться достаточно большие для развития процесса скопления.

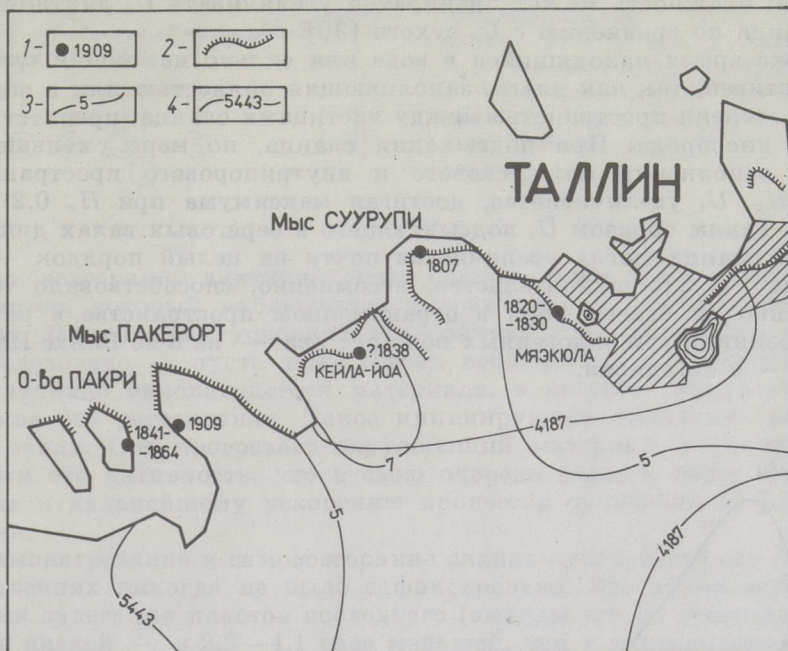


Рис. 1

Схема расположения мест самовозгорания эстонских диктионемовых сланцев в скоплениях, образовавшихся естественным путем. Условные обозначения: 1 — место и год обнаружения горения (знаком ? обозначено место предполагаемого пожара в Кейла-Йоа), 2 — глинт, 3 — изолинии мощности пласта диктионемовых сланцев (цит. по [29]), м, 4 — изолинии средней теплотворной способности диктионемового сланца, кДж/кг

Сейчас достоверно известно, что диктионемовые сланцы высокоактивны по отношению к кислороду воздуха и весьма склонны к самовозгоранию. Однако эта активность может существенно изменяться как по площади залегания сланцев, так и по мощности пласта. Кроме того, она зависит от ряда внутренних и внешних факторов. Так, средняя кинетическая константа скорости сорбции кислорода диктионемовым сланцем Маардуского месторождения под Таллином \bar{U}_s равна $2,43 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{ч}$, а сланцем Тоолсеского месторождения — $4,47 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{ч}$ [30].

Теплотворная способность диктионемового сланца Q_s^d и величина показателя степени его склонности к самовозгоранию — средняя кинетическая константа скорости сорбции \bar{U}_s — находятся в следующей зависимости [30]:

$$\bar{U}_s = 1,06 \exp 0,0002 Q_s^d.$$

Подставляя для сравнения в эту формулу значения средней теплотворной способности диктионемового сланца Q_s^d в районе Таллина (4187 кДж/кг) и у островов Пакри (5862 кДж/кг), мы получим \bar{U}_s , равные соответственно 2,45 и 3,42 $\text{см}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. А при максимальной теплотворной способности диктионемового сланца, равной

6699 кДж/кг, \bar{U}_s составляет $4,05 \text{ см}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Таким образом, у островов Пакри средняя активность сланца в 1,4 раза, а максимальная — в 1,65 раза выше, чем в районе Таллина. Кроме того, у о-ва Вяйке-Пакри и Палдиски сланец был выброшен из моря волнами и, следовательно, очень намок. Известно, что повышенная (до определенных пределов) влажность может пятикратно увеличивать \bar{U}_s диктионемового сланца по сравнению с U_s сухого [30].

В то же время находящийся в воде или сильно намокший сланец менее активен, так как влага, заполняющая полностью или в значительной степени пространство между частицами сланца, препятствует доступу кислорода. При подсыхании сланца, по мере уменьшения степени заполнения межкускового и внутривещного пространства влагой H_w , U_s увеличивается, достигая максимума при H_w 0,2 [30] (рис. 2). Таким образом \bar{U}_s подсыхающего в береговых валах диктионемового сланца могла увеличиться почти на целый порядок — до $20 \text{ см}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Это обстоятельство, несомненно, способствовало тому, что именно на берегу моря в ограниченном пространстве в разное время возникли три эндогенных пожара: два — на о-ве Вяйке-Пакри и один — у Палдиски.

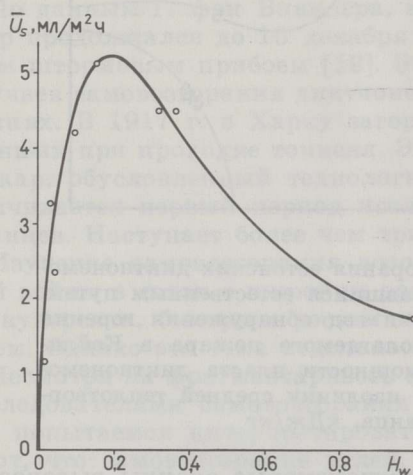


Рис. 2

Зависимость величины кинетической константы скорости сорбции кислорода \bar{U}_s диктионемовых сланцев месторождения Маарду от показателя степени заполнения межкускового пространства водой H_w

Следует иметь в виду, что самовозгорание сланца у глинта около маяка Суурупи (1807 г.) произошло после засушливого лета [8], в течение которого сланцы могли подсохнуть и, возможно, увеличить свою активность. Повышение температуры сланца на каждые 10°C увеличивает его среднюю активность в 1,7—1,8 раза [30]. Следовательно, теплое лето тоже может способствовать самовозгоранию сланца.

В связи с этим отметим, что осень 1909 г., когда диктионемовые сланцы загорелись на берегу у Палдиски, была очень сухой и теплой. В период с 23 августа по 22 сентября полуденная температура колебалась от $+8,8$ до $+22,8^\circ\text{C}$, а среднесуточная была равна $11,9^\circ\text{C}$, что на 1°C выше средней многолетней [31]. Осадков же выпало всего около 10 мм.

При сопоставлении графика скользящих 10-летних средних температур, отмеченных в Ленинграде с начала XIX столетия и до 1920 г. [32], с датами возникновения упомянутых эндогенных пожаров (рис. 3), мы видим, что последние расположены на нисходящих ветвях периодов потепления после температурного максимума.

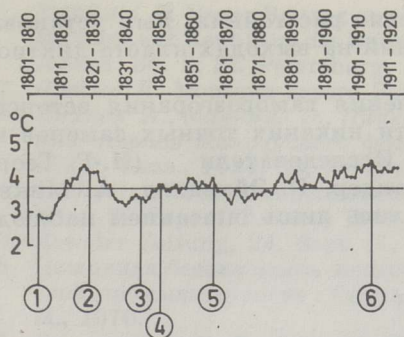


Рис. 3

Сопоставление графика скользящих 10-летних средних температур Ленинграда [32] с датами самовозгорания диктионемового сланца в Эстонии в скоплениях, образовавшихся естественным путем: 1 — у маяка Суурупи, 2 — в окрестностях Таллина, 3 — предполагаемое самовозгорание в Кейла-Йоа, 4, 5 — на о-ве Вяйке-Пакри, 6 — у Палдиски

Самовозгорание диктионемового сланца имеет такой же очаговый характер, который наблюдается у всех других самовозгорающихся пород. При равных условиях теплообмена очаг образуется там, где сосредоточено — пусть даже совсем небольшое — скопление наиболее активно окисляющегося материала, в котором генерация тепла больше его рассеивания. Такое инициирующее скопление действует как запал. Оно прогревает окружающий материал, увеличивая тем самым его активность, что в свою очередь ведет к росту генерации тепла и дальнейшему ускорению процессов окисления и самонагревания.

Самонагревание и самовозгорание сланца-кукерсита в естественных скоплениях никогда не было зафиксировано. Это объясняется условиями залегания пластов последнего (выходы его не достигают глинта) и низкой — в 2,2—4,1 раза меньшей, чем у диктионемовых сланцев, — активностью по отношению к кислороду воздуха [33].

Природные подземные пожары случаются редко. Для их возникновения требуются, как мы убедились, специфические условия залегания пласта и чрезвычайно высокая по отношению к кислороду воздуха химическая активность горючей породы. В этом отношении диктионемовые сланцы стоят особняком, так как местами обладают чрезвычайно высокой химической активностью, что позволяет им самовозгораться у выхода пласта на поверхность земли даже в равнинной местности, в то время как известные угольные подземные пожары возникали преимущественно в горах. В настоящее время зафиксированы естественные подземные пожары в верховьях Амура [34], в урочище Кухи-Малик в Таджикистане [35] и в штате Южный Уэльс в Австралии [36]. Два последних пожара длятся уже более двух тысячелетий. Следы потухших подземных пожаров были обнаружены в прошлом веке при разведке Кузнецкого каменноугольного бассейна [37].

Подводя итоги первого периода исследований самовозгорания диктионемовых сланцев в Эстонии (1791—1917 г.), можно сказать, что за это время было зафиксировано пять эндогенных подземных пожаров. Открытым остается вопрос о самовозгорании сланца в Кейла-Йоа. Все пожары возникали в небольших скоплениях диктионемового сланца, что указывает на чрезвычайно высокую активность этого сланца по отношению к кислороду и подтверждает его большую склонность к самовозгоранию. При горении сланца выделялся дым со специфическим запахом продуктов сухой перегонки, а около очагов между камней были обнаружены кристаллы самородной серы. Пламя не образовывалось. Загорание имело очаговый и затяжной характер. Температуры в очагах достигали температуры загорания бумаги. Местами наблюдались очаги самонагревания с умеренными температурами, появление которых ошибочно объясняли передачей температуры

от известных очагов горения на далекие расстояния. Был установлен факт более интенсивного роста растений на выходах пласта диктионемовых сланцев.

Особенность первого периода изучения самовозгорания эстонских сланцев заключается в том, что почти никаких точных замеров или экспериментов не проводилось. Исследователи (И.-Г. Георги, В. М. Севергин, Ф. Шмидт, Х.-Г. Пандер, Э. Эйхвальд, А. Миквиц, Г. фон Винклер) обычно ограничивались лишь описанием наблюдаемых процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Georgi J.* Von einer feuerfangenden Erde aus der Revalischen Stadthalter-schaft. — Im: Auswahlökonomischer Abhandlungen, welche die freye Ökono-mische Gesellschaft in St. Peterburg in deutscher Sprache erhalten hat. Dritter Band. St. Peterburg, 1791, S. 330—331.
- 2. Проф. *Гаген* (из Кенигсберга). О самовозгораниях и предосторожностях противу их. — Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических (Москва), 1822, ч. 2, № 4, с. 259—266.
- 3. О самосгорании людей. — Новый магазин естественной истории, физи-ки, химии и сведений экономических (Москва), 1828, ч. 3, № 3, с. 173—179.
- 4. *Liebig J.* Zur Beurteilung der Selbstverbrennung menschlicher Körper. — Im: Reden und Abhandlungen von Justus Liebig. Leipzig, 1874, S. 83.
- 5. *Pallas P. S.* Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reiches. Teil 2. Buch 1. — St. Peterburg, 1773, S. 54—57.
- ✓ 6. *Gustavson H.* Diktüoneemakilda põlemine Suurupis 175 aastat tagasi. — Eesti Loodus, 1983, nr. 9, lk. 606.
- 7. *Schlegel Chr.* Reisen in mehrere russische Gouvernements in den Jahren 1801, 1807 und 1815. Bd. V. Ausflug nach Ehstland im Junius 1807. — Meiningen, 1830.
- 8. *Севергин В.* Известие о Ревельской дымящейся горе. — Технологиче-ский журнал (Санкт-Петербург), 1808, 5, ч. 1, с. 157—169.
- 9. *Лоог А. Р.* К геохимии нижнего ордовика Эстонии. — Тр. / Институт геологии АН ЭССР, 1962, 10, с. 273—281.
- 10. Отчет по исследованиям, произведенным в 1838 году майором Гельмер-сеном над месторождениями горючего сланца, открытого Эстляндской губернией, в окрестностях мызы Фалл, принадлежащей г. генерал-адъютанту графу Бенкендорфу, и в мызе Толкс барона Врангеля. — Горный журнал, 1838, ч. 3, кн. 8, с. 258—265.
- 11. А. с. 978750 (СССР). Состав для рекультивации / Х. В. Луйк, Р. Р. Кокк, Л. П. Раудсепп. — Оpubл. в Б. И., 1982, № 45, с. 4.
- 12. *Стадников Г. Л.* Самовозгорающиеся угли и породы, их геохимическая характеристика и методы опознавания. — М., 1956.
- 13. *Печук И. М., Маевская В. М.* Эндогенные пожары в Донском бассей-не. — М., 1954.
- 14. *Агрикола Г.* О горном деле и металлургии. — М., 1962.
- 15. *Pander, Christian Heinrich.* Beiträge zur Geognosie des Russischen Reichs. — St. Petersburg, 1830.
- 16. *Helmersen G. v.* Über den bituminösen Thonschiefer und ein neuentdecktes, brennbares Gestein der Übergangformation Ehstlands, mit Bemerkungen über einige geologische Erscheinungen neuerer Zeit. — Bulletin scientifique rublié par l'Académie Impériale de Sciences de St. Petersburg, 1839, 4—5, N 100—101, P. 56—73.
- 17. *Tammekann A.* Eesti diktüoneema-kihi uurimine tema tekkinise, vanaduse ja leviku kohta. — Eesti Vabariigi Tartu Ülikooli Toim., A V. 6., Dorpat, 1924.
- 18. *Luha A.* Eesti NSV maavarad. Rakendusgeoloogiline kokkuvõtlik ülevaade. — Tartu, 1946.
- 19. *Winkler H. v.* Eestimaa Geoloogia. 1. Ladelugu. Ürgaegkond — devoon. — Tallinn, 1922.
- 20. *Buch Ch. L. v.* Beiträge zur Bestimmung der Gebirgsformationen in Russ-land. — Berlin, 1840.

- 21. *Eichwald E.* Neuer Beitrag zur Geognosie Ehstlands und Finnlands. — Im: Beiträge zur Kenntniss des Russischen Reiches und der angränzenden Länder Asiens. Bd. 8. St. Petersburg, 1843.
- ✓ 22. *Орвику К.* Морские берега Эстонии. — Таллин, 1974.
- ✓ 23. *Пихлак А., Маремяэ Э., Пикков В., Липпмаа Э.* О загрязняющем влиянии отвалов Маардуского фосфоритового карьера на воду. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1984, 33, № 3, с. 166—170 (на эст. яз.).
- 24. *Mickwitz A.* Die «brennenden» Schieferlager von Baltischport. — Rewaler Zeitung, 29 Sept. (12. Okt.) 1909, Nr. 223.
- 25. *Rewaler Zeitung*, 24. Sept. (7. Okt.) 1909, Nr. 219.
- 26. Пожарная безопасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности : Справочник / Под общей ред. И. В. Рябова. — М., 1970.
- 27. *Веселовский В. С., Алексеева Н. Д., Виноградова Л. П. и др.* Самовозгорание промышленных материалов. — М., 1964.
- 28. *Лоог А., Кивимяги Э.* Литостратиграфия пакерортского горизонта в Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Хим., Геол., 1968, 17, № 4, с. 374—385.
- 29. *Кальо Д., Кивимяги Э.* О распределении граптолитов в диктионемовом сланце и разновозрастность его фаций. — Изв. АН ЭССР. Хим., Геол., 1970, 19, № 4, с. 334—341.
- ✓ 30. *Пихлак А. А.* О склонности диктионемовых сланцев из месторождений фосфоритов ЭССР к самовозгоранию. — Горючие сланцы, 1984, 1, № 3, с. 251—264.
- 31. Климат Таллина. — Л., 1982.
- 32. *Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г.* Современные изменения климата. — Л., 1966.
- ✓ 33. *Пихлак А. А.* Сравнение полезных ископаемых по степени склонности к самовозгоранию. — Горючие сланцы, 1984, 1, № 4, с. 379—387.
- 34. *Печерин А. И.* Горящие горы на Амуре. — Природа, 1963, № 1, с. 24.
- 35. *Новиков В. П., Кушлина В. Б., Тен И. П.* Подземный угольный пожар и серно-нашатырные копи в урочище Кухи-Малик (центральный Таджикистан). — Изв. АН Тадж. ССР. Отд. физ.-матем. и геол.-хим. наук. 1979, № 4, с. 145. — Рукопись деп. в ВИНТИ 10.07.79 г., № 2501-79.
- 36. Огонь горит вечно. — Знание — сила, 1984, № 2, с. 15.
- 37. Исследования, произведенные в Кузнецком каменноугольном бассейне (Из отчета об успехах поисковых партий в Алтайском округе в 1856 г., выполненных горным инженером полковником Боярышниковым и штабс-капитаном Корженевским). — Горный журнал, 1858, № 1.

Представил А. Я. Аарна

Институт химической и биологической физики
Академии наук Эстонской ССР
г. Таллин

Поступила в редакцию
14.01.1985

SOME FACTS ON THE HISTORY OF SPONTANEOUS FIRING STUDIES OF ESTONIAN OIL SHALE

THE FIRST PERIOD 1791—1917

The article deals with the results of the spontaneous firing studies by academician J.-G. Georgi in 1781—1791, which allowed him to suggest the possibility and origin of spontaneous firing of Estonian oil shale.

The author gives some spontaneous firing observation results of natural dictyonema shale heaps: the observations were conducted in 1807 near Suurupi lighthouse by academician V. M. Severgin, at the beginning of the 19th century in Tallinn area by Ch.-H. Pander, in 1841 on the island of Väike-Pakri by E. Eichwald and in 1864 by academician Fr. Schmidt, and in 1909 in Paldiski by geologists A. Mickwitz and H. Winkler. The first known reports on spontaneous firing in artificial dictyonema shale heaps date back to 1917, in Harku. This observation ends the first period of dictyonema shale and spontaneous firing studies in Estonia.

During the next 30 years neither spontaneous combustion processes were reported, nor observations were conducted. Studies in this field started again only after the Second World War.

The article offers a modern interpretation of some of the observation results of the past century. These observations show that the Estonian dictyonema shale vigorously reacts with atmospheric oxygen. These reactions are highly exodermic and therefore the shale is prone to spontaneous combustion even in very small amounts, e. g. in shore walls not higher than 1 m. Spontaneous combustion appears in small centers and can last for several years. Based on approximate evaluation, the temperature in these heaps might have been over 350°C.

A characteristic feature of these studies of the past century is the fact that the observers only described the processes and very seldom some experiments or measurements were carried out. The author also offers the time when the so called pyrite theory of spontaneous combustion might have emerged, and some data supporting the priority of Russian scientists in studying spontaneous combustion.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Chemical Physics and Biophysics
Tallinn*