

В. А. КАТТАЙ

**КАРСТОВЫЕ НАРУШЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗАЛЕЖИ  
ЭСТОНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУКЕРСИТОВ  
И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ**

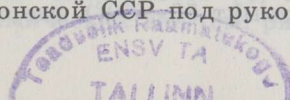
Эстонское месторождение кукерситов (ЭМ) Прибалтийского сланцевого бассейна (ПСБ) расположено на южном погребенном склоне Балтийского щита. Кукерситоносная толща с промышленной залежью (промпачкой) залегает среди карбонатных отложений среднего ордовика и полого погружается в южном направлении под углом  $7-13'$ , или с уклоном  $2-4$  м/км. Перекрывающая толща представлена карбонатными породами среднего и верхнего ордовика, а в крайней восточной части месторождения — также среднедевонскими карбонатно-терригенными отложениями. Глубина залежи увеличивается от выхода под четвертичные отложения (на севере) до  $100-200$  м от поверхности земли (на южной границе месторождения).

Простое моноклинальное залегание сланценосной толщи осложняют региональные линейные зоны сложных — пликативно-дизъюнктивных — нарушений и локальные структуры — антиклинальные, реже синклинальные. Протяженность линейных нарушений составляет десятки километров, ширина их варьирует от сотен метров до полутора—двух километров, общая амплитуда — от  $5$  до  $25$  м. Известные локальные структуры имеют размеры в плане от долей до  $10$  км<sup>2</sup> и амплитуду от нескольких до  $20-25$  м. Между указанными структурами развиты безамплитудные зоны трещиноватых пород [1—3].

Вся карбонатная толща ордовика представлена карстующимися породами. Некоторые различия в составе пород предопределили избирательный характер карстообразования по вертикали. Один из урвней наибольшего развития карста — промпачка [4]. Из перечисленных выше тектонических нарушений карст встречается в зонах линейных дислокаций и безамплитудных зонах трещиноватости северо-восточного (СВ) простирания.

Трещиноватость и закарстованность горных пород затрудняют проходку горно-подготовительных выработок, осложняют технологию ведения работ по добыче, ведут к потерям запасов сланца в целиках, отрицательно сказываются на безопасности работ и себестоимости добываемого сланца [4, 5]. Опыт эксплуатации показывает, что с глубинным карстом, развитым в промпачке сланца или в непосредственной ее кровле, связаны наибольшие сложности при подземной разработке, обусловленные резким снижением устойчивости стенок и кровли выработок, усложнением гипсометрии пласта и повышенными водопритоками.

Проблемы трещиноватости и закарстованности пород в бассейне рассматривались в специальных исследованиях М. А. Гатальского, М. С. Газизова, Н. Г. Паукера, Ю. И. Хейнсау, А. С. Левина, Р. М. Вахера и других. Изучены морфология трещин и карстопроявлений, условия их развития, влияние на обводненность и устойчивость выработок, разработаны методы их выявления и прогноза. В 1980 г. в Управлении геологии Эстонской ССР под руководством автора ста-



ть была завершена обобщающая работа по изучению тектонической нарушенности ЭМ кукерситов. Она включала как полевые комплексные геолого-геофизико-гидрогеологические исследования, обследования действующих шахт и разрезов, так и тематическое обобщение результатов всех ранее проведенных работ. Данные о площадных закономерностях развития карста на уровне промпачки легли в основу настоящей статьи.

Основным методом выявления и трассирования карстовых нарушений при геологоразведочных работах на ЭМ является площадная электроразведка (электропрофилирование). Методами электропрофилирования уже изучена вся перспективная для промышленного освоения часть месторождения — около 3 тыс. км<sup>2</sup>. В разрабатываемой сейчас центральной части месторождения сеть наблюдений составляет в основном (250—400)×25 м. На детально разведанных площадях, подготовленных для нового шахтного строительства, сеть принята равной (400—600)×25 м, а на периферийных, где проводится предварительная разведка — (800—1000)×25 м.

Для изучения геологической природы аномалий использовали комплекс геолого-геофизико-геохимических исследований: вертикальное электрическое зондирование, бурение профилей проверочных скважин, их картаж, детальное визуальное и геохимическое изучение керн, гидрогеологические и геоморфологические наблюдения. Геологическую природу геофизических аномалий оценивали исходя из их пространственной ориентировки, интенсивности и протяженности, а разрешающую способность метода — с учетом особенностей геоэлектрического разреза толщи.

Общезвестно, что в основе процессов карстообразования лежит химическое и механическое разрушение горных пород под влиянием природных вод, то есть растворение с удалением (выносом) растворенного вещества. Развитие этих процессов зависит от трех основных факторов: наличия в разрезе карстующихся пород, их водопроницаемости и существования условий, обеспечивающих водообмен [4, 6].

В ПСБ вся толща карбонатных пород ордовика, включая и продуктивный горизонт горючих сланцев, подвержена процессам карстообразования. В вертикальном разрезе карстовые нарушения представляют собой зоны трещиноватых, дробленных, доломитизированных и выщелоченных пород. Иногда отмечаются карстовые полости: полые, заполненные глиной или песчаным материалом. В геоэлектрическом разрезе они проявляются как вертикальные тела пониженных электрических сопротивлений с  $Q_{\kappa}$  в полтора—три раза меньше, чем в нормальном геологическом поле. Благоприятствуют проведению электроразведочных работ и облегчают интерпретацию полученных результатов такие факторы, как незначительная в основном мощность четвертичных отложений (до 5—10 м), сравнительная однородность вертикального разреза карбонатной толщи среднего ордовика, достаточно спокойный характер рельефа дневной поверхности и кровли карбонатных пород.

М. А. Гатальский [7] и М. С. Газизов [4] выделяют в бассейне два взаимосвязанных типа карста: поверхностный и подземный (проводимая между ними граница условна). Поверхностный карст развит непосредственно под чехлом маломощных четвертичных отложений и представлен карстовыми и суффозионными воронками и промоинами.

Карстовые нарушения, развитые на уровне промпачки горючих сланцев или в непосредственной ее кровле, принято называть глубинным карстом. Его образование связано с тектоническими трещинами и кластическими дайками СВ простирания [4, 8, 9]. В плане зоны карста в промпачке сланца имеют форму узких, вытянутых в СВ направлении линз (азимут 50—70°), где слои горючих сланцев заме-

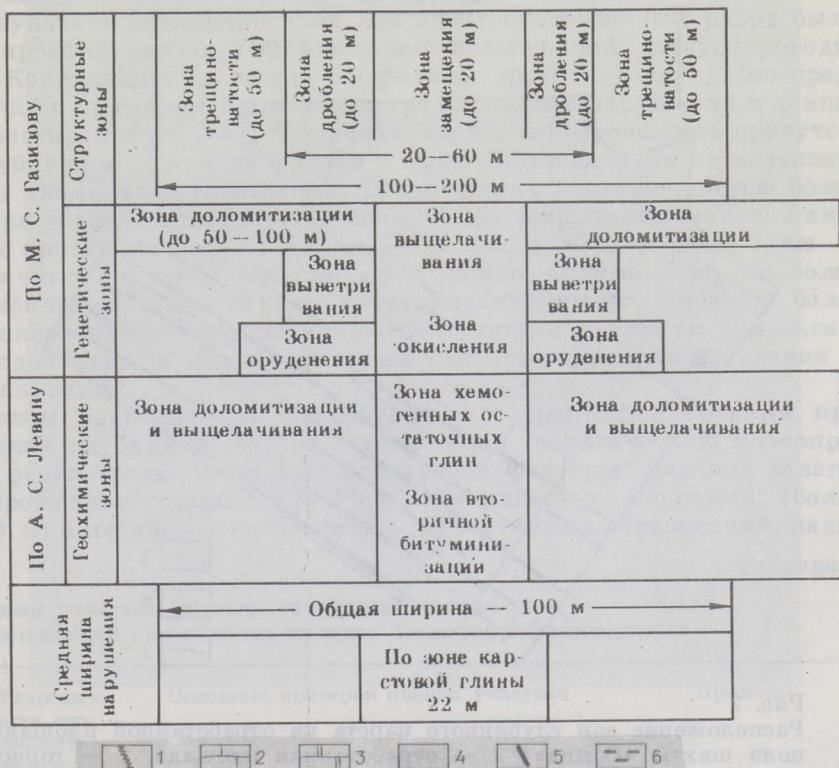
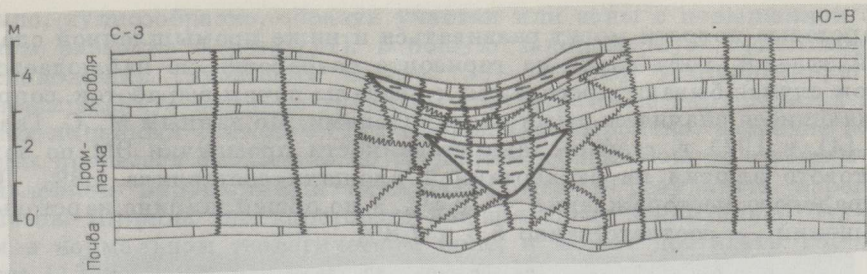


Рис. 1

Схематический разрез глубинного карста в промышленной пачке кукуерситов: 1 — трещина, 2 — известняк, 3 — доломит, доломитизированный известняк, 4 — горючий сланец, 5 — окисленный сланец, 6 — карстовая глина (карстовый элювий)

щены элювиальной глиной. В периферийных частях зоны отмечаются дробленость и трещиноватость, вторичные (метасоматические) изменения карбонатных пород. Вертикальный профиль участков замещения воронко- или чашеобразный, он расширяется кверху и часто не достигает подошвы промпачки, обычно приподнятой. Краевые и нижние части зоны заполнены пластичной голубовато-серой глиной, на которой лежат сильно дробленные доломиты из просевшей кровли. В местах контакта слоев кукуерсита и глины наблюдается тонкая (несколько сантиметров) оторочка черного окисленного сланца (рис. 1). По изменениям в составе и строении массива горных пород, взаиморасположению различных систем трещин, форме и размерам отдельных блоков, определяющих поведение и устойчивость боковых пород в выработках, М. С. Газизов выделяет в пределах карстовых нарушений структурную и генетическую зональность [4, 10]. А. С. Левин [5] указывает на наличие геохимических зон (см. рис. 1).

Карстовые полости могут развиваться и ниже промышленной сланцевой залежи, хотя карст на горизонте разработки не наблюдается. В этом случае бывают проседания и провалы почвы выработок, сопровождающиеся значительными водопитоками. По данным М. С. Газизова [4], в 1971 г. степень закарстованности промпачки ЭМ по зоне карстового элювия на отработанной площади составляла 1,3%, Ленинградского месторождения — 2,4%, а по общей ширине карстовых нарушений — соответственно 5,5 и 7,8%.

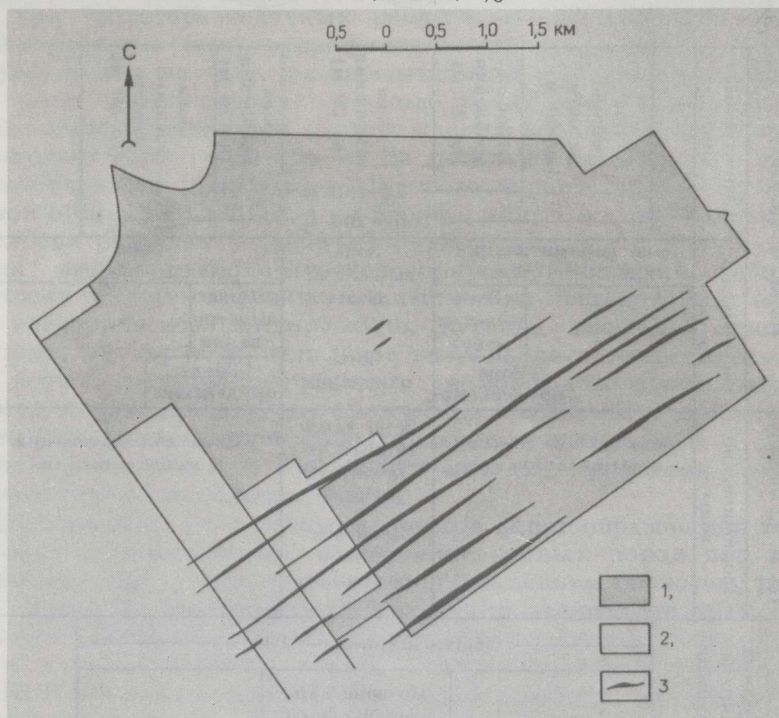


Рис. 2

Расположение зон глубинного карста на отработанной площади поля шахты «Сомпа»: 1 — отработанная площадь, 2 — горно-подготовительные выработки, 3 — глубинные карсты

Анализ закарстованности отработанных площадей центральной части ЭМ показал, что степень ее проявления на разных шахтных и карьерных полях неодинакова: для поля шахты «Таммику» и южной части поля шахты «Сомпа» она составляет 2—3% по элювиальной карстовой глине (рис. 2), для поля шахт «Эстония», «Ахтме», «Виру» и всех карьерных полей — до 1%, а в выработках шахт «Кивили», «Кохтла» карстопроявления не зафиксированы.

Ширина карстовых нарушений по зоне карстового элювия составляет от долей метра до первых десятков метров, изредка и больше. Средняя ширина одинарного или нескольких сближенных зон карста на ЭМ — 22,0 м. В этом интервале ведение горных работ наиболее опасно, зачастую требуется сплошное крепление кровли и стенок выработок. Общая ширина карстовых нарушений составляет от первых десятков до 100—200 м, средняя — 110 м. Анализ показывает, что обычно она в 4—5 раз больше ширины зоны замещения (карстового элювия). Такие зоны оставляют в целиках списывая запасы по горно-геологическим условиям (см. рис. 1).

В площадном расположении зон глубинного карста намечается следующая закономерность: отдельные изолированные карстовые нарушения встречаются редко, чаще они располагаются группами, сбли-

женно, кулисообразно, образуя участки или зоны с повышенной степенью развития карста [11]. В общую закономерную ориентировку расположения глубинного карста ( $50-70^\circ$  СВ), установленную по данным эксплуатации, не укладываются карстовые нарушения в пределах линейных тектонических нарушений. Вероятно, развитие карстовых процессов проходило по трещинам, совпадающим с общим направлением нарушений и образовавшимся в результате перегиба пластов. Ширина зон карстового элювия здесь значительно больше, чем в нормальном геологическом поле, и может достигать 100 м и более [12].

В результате проведенных на ЭМ электроразведочных работ было зафиксировано свыше 700 аномалий повышенной электропроводности. Корреляцию их между профилями проводили исходя из представлений о прямолинейном характере карстовых нарушений в диапазоне простираия  $50-70^\circ$  СВ. Установлено, что вероятность присутствия глубинного карста находится в прямой зависимости от интенсивности и длины аномальных зон. В аномалиях протяженностью более 2 км при эксплуатации практически всегда вскрывается карст, в аномалиях протяженностью 1—2 км — только в 50%, а менее 1 км — в единичных случаях. Объяснить это можно, видимо, тем, что более протяженные и выдержанные карстовые нарушения имеют и большую поперечную мощность, являются лучшими каналами для активного водообмена, в них интенсивнее развиты процессы дробления и выщелачивания.

В целом разрешающая способность электропрофилеирования при выявлении глубинного карста снижается, а геологическую интерпретацию результатов осложняют следующие факторы: глубина залегания промачки свыше 40—50 м, повышенная мощность (более 12—20 м) и неоднородность состава четвертичных образований, нали-

Таблица 1

**Типизация участков Эстонского месторождения по разрешающей способности методов электропрофилеирования**

Тип участка	Разрешающая способность методов электропрофилеирования	Основные критерии оценки участков	Примеры
I	Высокая	Глубина залежи менее 50 м, мощность четвертичных отложений до 5—7 м, разрез перекрывающей толщи $O_2kk-O_2kl$ , мощность сланцевой залежи 2,5—3,2 м, простой рельеф дневной поверхности и кровли коренных пород	Поля действующих шахт и разрезов, шахтные поля 12 и 13
II	Пониженная	Глубина залежи 50—100 м и мощность четвертичных отложений 7—20 м, разрез перекрывающей толщи — $O_2kk-O_2kl$ , мощность сланцевой залежи 1,5—2,5 м, простой рельеф дневной поверхности и кровли коренных пород	Поле шахты «Эстония», поля 11, 12 (южная часть) и 14
III	Низкая	Мощность четвертичных отложений более 20 м или наличие в перекрывающей толще девонских отложений, сложный рельеф дневной поверхности и кровли коренных пород	Площади развития погребенных долин, додевонского эрозийного вреза, озовокамовых систем

чие в разрезе девонских отложений, обладающих высокой электропроводностью и играющих роль экрана, неровный рельеф дневной поверхности и коренных пород, сильно обводненные участки, наличие техногенных производственных сооружений. Таким образом, с точки зрения разрешающей способности методов электропрофилирования может быть проведена типизация участков ЭМ (табл. 1).

Для прогнозной оценки площадной закарстованности месторождения всю площадь месторождения разбили на квадраты  $4 \times 4$  км. В пределах каждого квадрата измеряли суммарную длину фактических зон глубинного карста (по данным эксплуатации) и геофизических аномалий, интерпретируемых как глубинный карст. Средний процент закарстованности площади в каждом квадрате определяли по формуле

$$k = 100m \Sigma l / S,$$

где  $k$  — коэффициент закарстованности по зоне карстовой глины, %,  $m$  — средняя ширина зоны (22 м),  $\Sigma l$  — суммарная протяженность глубинного карста, геофизических аномалий,  $S$  — площадь квадрата ( $16 \text{ км}^2$ ) или его части.

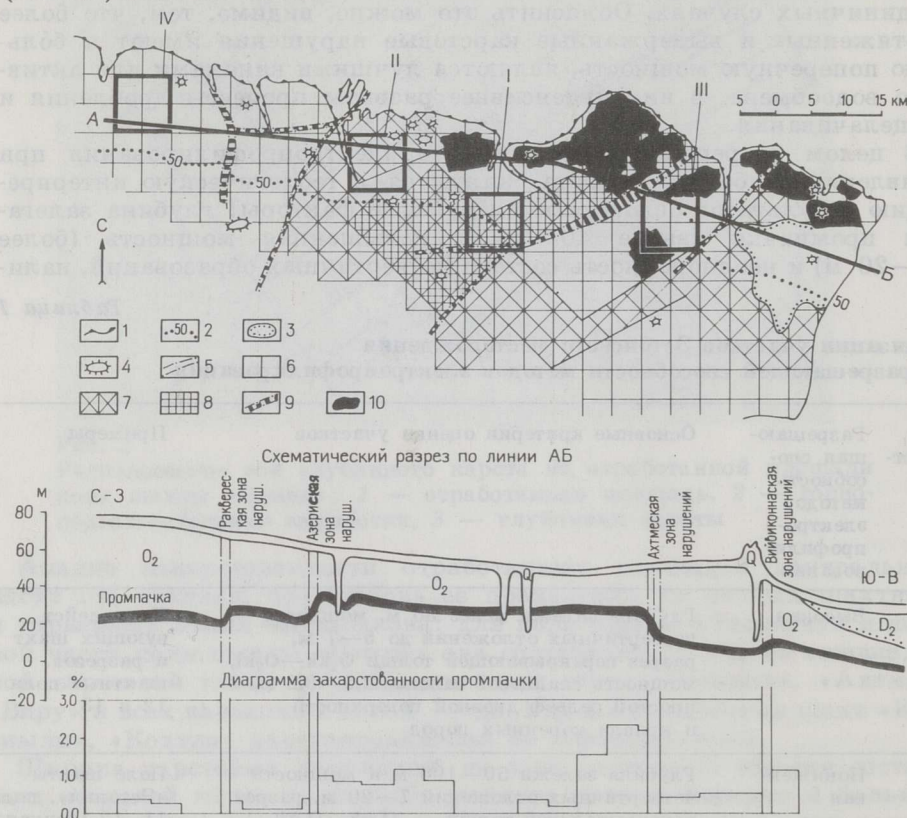


Рис. 3

Схема закарстованности Эстонского месторождения: 1 — северная эрозионная граница месторождения, 2 — изогипсы глубины залегания промпачки (50 м), 3 — досреднедевонская эрозионная депрессия, 4 — локальные структуры, 5 — линейные зоны тектонических нарушений, 6 — закарстованность промпачки по карстовой глине до 0,6%, 7 — то же, 0,6—1,5%, 8 — то же, 1,6—3,0%, 9 — то же, 10—20%, 10 — отработанные площади шахт и разрезов; I—IV — участки, по которым проводилась сравнительная оценка степени закарстованности двумя методами

Результаты расчетов закарстованности промпачки по отдельным квадратам представлены на схеме (рис. 3). В пределах линейных зон тектонических нарушений процент закарстованности определялся непосредственно для площади нарушения, отстроенной по осложнению гипсометрии подошвы сланцевой залежи. Средняя ширина зоны карстового элювия принималась равной 60 м [12].

Надежность полученных результатов оценивали и другим методом приближенного определения закарстованности площадей. В разных частях ЭМ, на площадях с различной степенью закарстованности, но при примерно одинаковой плотности разведочной сети были выбраны 4 квадрата (примерно 100 км<sup>2</sup>). В их пределах подсчитывалось количество скважин, при бурении которых случайно вскрыли глубинный карст в промпачке или обнаружили косвенные признаки возможного наличия карста. Прогнозный процент закарстованности в этом случае определяли как соотношение числа таких скважин и общего количества пробуренных на участке скважин (см. рис. 3, табл. 2). Видно, что сходимость результатов удовлетворительная, разная степень закарстованности различных участков подтверждается обоими методами.

Таблица 2

**Сравнительная оценка закарстованности отдельных участков месторождения**

Исследуемые участки (шахтные поля)	Закарстованность промпачки, %			
	По геофизическим данным		По данным бурения	
	По зоне карстовой глины	По общей ширине карстового нарушения	По зоне карстовой глины	По общей ширине карстового нарушения
I (12)	1,6	8,0	2,2	8,2
II (13,33—38)	0,9	4,5	1,3	10,0
III («Эстония»)	0,4	2,0	0,5	3,8
IV (53—56)	0,2	1,0	0,0	1,7

Анализ полученных результатов показывает, что сделанный ранее по отработанной части месторождения вывод о неодинаковой закарстованности различных участков ЭМ в целом подтверждается. Наиболее закарстованы площади развития зон линейных тектонических нарушений (10—20%). Повышенная закарстованность отмечается на участках, примыкающих с северо-запада к Ахтмескому нарушению (1,5—3%), с юго-востока — к Азерискому (0,5—1,5%), и на южном продолжении Вийвиконнаского нарушения (1—2%). По имеющимся данным, повышенная закарстованность характерна и для отработанной площади Ленинградского месторождения (2—3%), расположенной к востоку от Загривского нарушения [4]. Если рассматривать строение бассейна как систему блоковых структур, то можно заметить, что эти участки находятся в поднятых крыльях нарушений. Менее закарстованы расположенные в опущенных блоках поля действующих карьеров, поле шахты «Эстония» и вся западная часть ЭМ (см. рис. 3).

Следовательно, наиболее интенсивно карстовые процессы развиты в пределах линейных дислокаций и максимально поднятых блоков, то есть на участках, подвергшихся наибольшему напряжению растяжения, которые способствовали образованию и раскрытию трещин и возрастанию водопроницаемости пород.

Некоторые исследователи [4, 7, 13] указывают на многоэтапность

развития карстовых процессов в ПСБ, начало которых связывают с началом каледонского тектогенеза. Возраст глубинного карста определяется при этом как досреднедевонский. На рубеже силура и девона здесь господствовали континентальные условия, создавшие благоприятную среду для развития активного карста в карбонатной толще ордовика.

Итак, неравномерность площадного распространения глубинного карста на месторождении в основном связана с неодинаковой интенсивностью проявления тектонических движений на разных участках, определивших различную водопроницаемость пород и интенсивность развития карстовых процессов.

Выявленные закономерности в распределении карстовых нарушений на уровне промышленной сланцевой залежи рекомендуется учитывать при раскройке шахтных полей, на стадии проектирования горных предприятий, а также при проведении горно-эксплуатационных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вахер Р. М., Пуура В. А., Эрисалу Э. К. Тектоническое строение северо-восточной Эстонии. — Тр. / Ин-т геол. АН ЭССР, 1963, 10, с. 319—336.
2. Пуура В. А., Кала Э. А. Плакантиклинали северо-восточной Эстонии. — Тез. совещ. «Локальные структуры Белоруссии и Прибалтики». Вильнюс, 1978, с. 29—31.
3. Хейнсалу Ю., Андра Х. Трещиноватость в районе сланцевых шахт Эстонии и геофизические методы ее исследования. — Таллин, 1975.
4. Газизов М. С. Карст и его влияние на горные работы. — М., 1971.
5. Левин А. С. Древний глубинный карст Ленинградского месторождения горючих сланцев: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. — Л., 1972.
6. Гвоздецкий Н. А. Карст. — М., 1981.
7. Гатальский М. А. Карст силурийских и ордовикских карбонатных пород Прибалтики. — Геология и геохимия, 1957, № 1, с. 213—217.
8. Дубарь Г., Левин А. Инъекционные кластические дайки в Северной Прибалтике. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1971, 20, с. 239—242.
9. Хейнсалу Ю. Кластические дайки и эпоха развития трещиноватости и карста в Северной Прибалтике. — Там же, с. 251—259.
10. Газизов М. С. К вопросу о морфологии и происхождении глубинного карста в Прибалтийском сланцевом бассейне. — Тр. / Ин-т геол. АН ЭССР, 1958, 2, с. 135—160.
11. Каттай В. А. О результатах изучения тектоники и карстопоявлений на полях шахт «Эстония» и «Кивиыли» Эстонского месторождения. — Горючие сланцы / ЭстНИИТИ, 1975, № 2, с. 22—25.
12. Каттай В., Вингисаар П. Строение Ахтмеского тектонического нарушения. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1980, 29, № 1, с. 55—62.
13. Пичугин М. С., Пуура В. А., Вингисаар П. А., Эрисалу Э. К. Региональные проявления метасоматической доломитизации в связи с тектоническими нарушениями в нижнепалеозойских отложениях Северной Прибалтики. — Советская геология, 1976, № 10, с. 78—90.

Представил Д. Л. Кальо

Поступила в редакцию  
13.02.1986

Институт геологии  
Академии наук Эстонской ССР  
г. Таллин



**KARSTIC DISLOCATIONS IN THE COMMERCIAL LAYER  
OF THE ESTONIAN KUKERSITE DEPOSIT AND  
REGULARITIES IN THEIR OCCURRENCE**

The Estonian Ordovician oil shale deposit has been represented by karsting carbonate rocks. Karst is widely distributed in the commercial kukersite layer causing difficulties in mining works. To distinguish and trace karstic dislocations, surficial electric profiling has been used. The extent of karsting has been estimated and regularities in the occurrence of karstic dislocations have been elucidated. The dislocations tend to occur in groups forming coulisse-like patterns, while isolated ones are rare. The greatest extent of karsting is associated with linear dislocations (10—20%) and lifted blocks in their nearest neighbourhood (1—3%).

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Geology  
Tallinn*