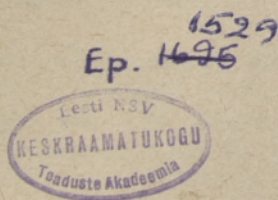


EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

GEOLOGIA INSTITUUDI
UURIMUSED

ТРУДЫ
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ
II



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1958

К ВОПРОСУ О МОРФОЛОГИИ И ПРОИСХОЖДЕНИИ ГЛУБИННОГО КАРСТА В ПРИБАЛТИЙСКОМ СЛАНЦЕВОМ БАСЕЙНЕ *

М. С. ГАЗИЗОВ

1. Общие сведения

Прибалтийский сланцевый бассейн простирается от меридиана г. Пальдиски на западе до р. Волхов на востоке, от южного берега Финского залива на севере до широты г. Тарту на юге и захватывает значительную территорию Эстонской ССР и Ленинградской области. Восточнее р. Нарвы находится Гдовское, Лужско-Волосовское, Веймарнское и Чудовское месторождения горючих сланцев, а западнее ее — Эстонское месторождение, где сосредоточены основные сланцедобывающие предприятия (рис. 1).

В геологическом строении Эстонского месторождения принимают участие осадочные породы древнего палеозоя, лежащие на кристалличе-

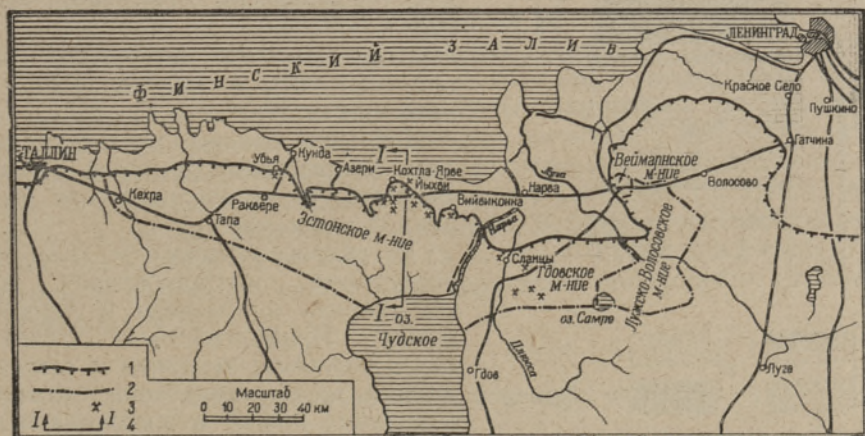


Рис. 1. Обзорная карта Прибалтийского сланцевого бассейна. 1 — линия выхода промышленной пачки горючих сланцев под четвертичные и девонские отложения; 2 — промышленная граница месторождения; 3 — шахты; 4 — линия геологического разреза (см. рис. 3).

* В порядке обсуждения.

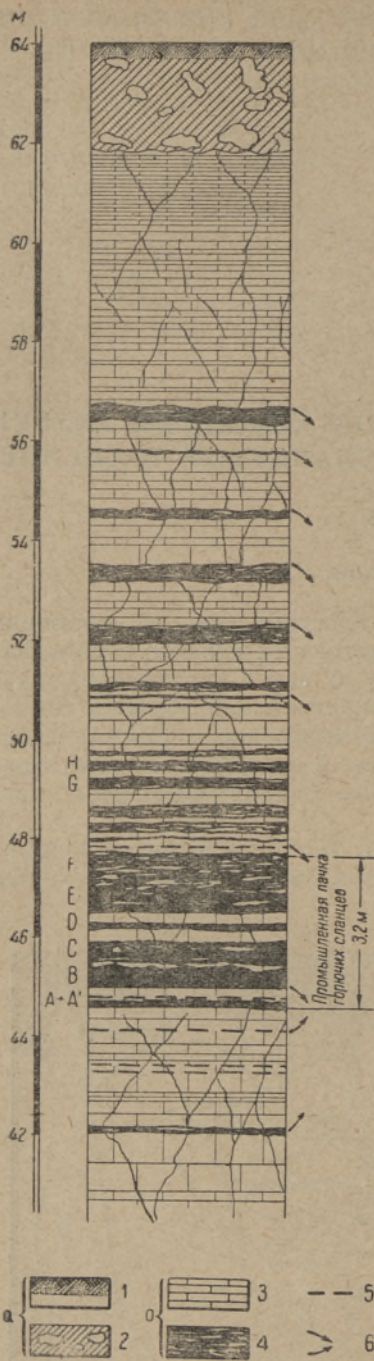


Рис. 2. Литологический разрез по главному стволу шахты № 2. 1 — растительный слой; 2 — суглинок; 3 — известняк трещиноватый; 4 — горючий сланец; 5 — глинистые пропластки; 6 — выходы подземных вод (нисходящие и восходящие), отмеченные при проходе стволов шахты и водосборника.

ском основании и перекрыты мало-мощными четвертичными отложениями.

В геоструктурном отношении рассматриваемое месторождение располагается на северном крыле Прибалтийской впадины. На описываемой территории установлено наличие погребенных эрозионных долин, врезанных в коренные породы палеозоя до отметок ниже уровня Балтийского моря (до —17,5 м).

Слои горючих сланцев приурочены здесь к кукурузескому горизонту среднего ордовика. Вмещающими породами являются известняки. Промышленная пачка сланцев состоит из восьми слоев, разделенных прослойками известняка; общая мощность ее около 3 метров (рис. 2). Пачка горючих сланцев подстилается известняками мощностью до 30 м и перекрывается известняками и глинистыми известняками ордовика (рис. 3), которые на юго-западе месторождения погружаются под толщей пород силура, а на востоке — под толщей пород девона.

Глубина залегания слоев горючих сланцев увеличивается с севера на юг от выходов их на поверхность до 100 и более метров.

Горючие сланцы представляют собою тонкозернистую известковистую осадочную горную породу, обогащенную органическим веществом; основные компоненты ее: органическое вещество — 20—40%, карбонаты кальция — 20—40% и тонкозернистый терригенный материал — 15—35%.

Горючие сланцы характеризуются алевропелитовой структурой и неясно-слоистой, горизонтальной или линзовидной текстурой.

В гидрогеологическом отношении территория месторождения горючих сланцев приурочена к северному крылу Прибалтийского артезианского бассейна; западная и северо-западная части территории относятся к первому поясу, а восточная и юго-восточная — ко второму поясу по классификации Н. И. Толстихина (1956).

Слой горючих сланцев, а также ниже- и вышележащие мергелистые известняки и пропластки глин считаются только относительными водоупорами, а вся толща ордовикских известня-

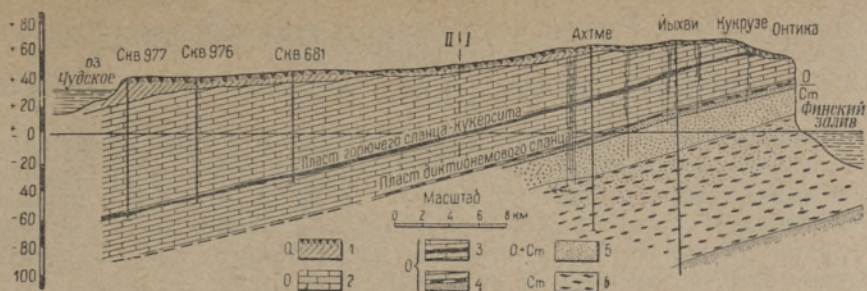


Рис. 3. Меридиональный геологический разрез по центральному району Эстонского месторождения горючих сланцев. I — область залегания горючего сланца в условиях постоянного водообмена и окисления; II — область залегания горючего сланца в условиях восстановительной среды. 1 — растительный слой, песок, глина валунная; 2 — известняк, доломит; 3 — горючий сланец; 4 — диктионемовый сланец; 5 — песок; 6 — «синяя глина».

ков — единым водоносным комплексом, характеризующимся различной степенью водообильности и фильтрационной способностью по разрезу и протяжению. Ордовикские известняки заключают в себе свободные и напорные воды трещинно-карстового типа.

Область питания водоносного горизонта ордовикских известняков месторождения совпадает с областью их распространения. Областью же их дренажа являются берега Финского залива и Чудского озера и на западе — Балтийское море, а также речная система.

По химическому составу воды известняков пресные, средней минерализации; сухой остаток колеблется в пределах от 350 до 800 мг/л, а общая жесткость сравнительно высокая (достигает 20). Эти воды по составу можно назвать гидрокарбонатно-кальциевыми.

Режим подземных вод зависит от количества атмосферных осадков и талых вод и имеет два максимума (весной и осенью) и два минимума (зимой и летом).

Поступление воды в горные выработки шахт происходит по тектоническим трещинам как из кровли и почвы выработок, так и из разрабатываемого пласта горючих сланцев. Интенсивное поступление воды в шахты наблюдается вблизи зон карстовых нарушений. Среднесуточные максимальные притоки воды в шахты достигают 6000—9000 м³/час. Коэффициент сезонной неравномерности притока воды в шахты зависит от глубины шахты и других факторов и достигает 100 (шахта «Кукрузе») и в среднем колеблется от 4 до 50. Коэффициент водообильности по шахтам колеблется от 6 до 10 (а по шахтам №№ 8 и 2 — до 30), и в среднем за восемь лет наблюдений (для шахт центрального района) он составил 8,1 м³/т.

2. Трещиноватость коренных пород

В горных породах, слагающих территорию месторождения, автором выделяются (применительно к классификации А. М. Овчинникова) следующие три группы трещин.

1. Литогенетические трещины, возникшие при формировании пород или, как указывает А. С. Новикова (1951), обусловленные «процессами, происходящими при диагенезисе и уплотнении пород». Однако при этом

нельзя исключить и влияние колебательных движений земной коры, которые происходили во время осадконакопления.

2. Тектонические трещины, образовавшиеся при формировании структур.

3. Трещины выветривания. Последняя группа трещин развивалась по литогенетическим и тектоническим трещинам путем их размываний в зоне выветривания и поэтому выделение их А. М. Овчинниковым в самостоятельную группу кажется не совсем обоснованным. Тем не менее, эта группа трещин на территории рассматриваемого сланцевого месторождения заметно отличается от первых двух групп.

На территории описываемого района встречаются все три группы трещин, и каждая из этих групп в той или иной мере влияет на горно-технические условия эксплуатации месторождения.

В основу определения тектонических трещин приняты обычные геологические критерии: форма трещин, их размеры и простираение, материалы заполнения пустот, характер поверхности стенок трещин и т. д.

В настоящее время установлена система четырех почти вертикальных тектонических трещин следующих направлений: северо-восточного (азимут $50-65^\circ$), северо-западного (азимут $300-320^\circ$) и трещины, близкие к широтному и меридиональному направлениям.

Кроме того, имеются горизонтальные трещины по плоскостям напластования или близкие к ним и трещины, связанные с карстовыми явлениями («карстовая тектоника»).

На горно-технические условия эксплуатации сланцевого месторождения существенное влияние оказывают тектонические трещины северо-западного и особенно северо-восточного направления, к которым приурочены карстовые явления, а также горизонтальные трещины по плоскостям напластования. Трещины меридионального и широтного направлений развиты слабо и были отмечены лишь в горных выработках некоторых шахт («Кюттейшуд», «Кукрузе» и др.).

Учитывая, что трещины в горных породах являются фактором, не только обуславливающим растворение пород в глубине, но и определяющим в значительной мере морфологию и гидрогеологию карста (Зайцев, 1940), остановимся более подробно на описании тектонических трещин северо-восточного простираения и трещин, связанных с «карстовой тектоникой».

Трещины северо-восточного направления вскрыты горными выработками шахт Эстонского и Гдовского месторождений, где они секут весь осадочный комплекс ордовика почти вертикально.

Многочисленные обследования трещин северо-восточного простираения на шахтах позволили автору подразделить их в основном на следующие четыре типа.

К первому типу относятся трещины с азимутом простираения $50-60^\circ$, пересекающие толщу осадочных пород почти вертикально и обычно выполненные белым кварцевым песком, сцементированным карбонатами и сульфидами. Ввиду того, что заполняющие трещины материалы плотно сцементированы и монолитны, эти трещины получили название трещин-жил. При пересечении таких трещин-жил горными выработками зубки врубовых машин не выдерживают и ломаются.

Трещины этого типа располагаются группами по 2—4 трещины, образуя зоны тектонического дробления, отстоящие друг от друга на разных расстояниях, от 10 до 200 и более метров. По протяжению эти группы трещин как бы смещены относительно друг друга; они имеют

в большинстве случаев четкообразную форму и кулисообразное расположение.

Ширина этих трещин-жил достигает 7—12 см; местами они имеют ответвления в виде прожилок песчаника шириной до 1 см (см. рис. 7а).

В середине трещин-жил, а иногда за пределами их можно наблюдать извилистые прожилки, заполненные кристалликами сульфидов и кальцита, являющиеся, по-видимому, свидетелями последующих небольших колебательных движений. Последним, видимо, обязаны своим происхождением также карбонаты кальция с кристалликами сульфидов, выполняющие аналогичные трещины северо-восточного простирания (особенно заметные у зон карстовых нарушений). Редко в них наблюдаются примазки голубовато-синей глины. Толщина этих прожилок незначительная и не превышает 1 см. Эти последующие колебательные движения местами, по-видимому, и дали начало выщелачиванию цементирующих веществ кварцевого песчаника и карстовым явлениям по трещинам описываемого типа.

По мере приближения к зоне закарстованного нарушения песчаники, заполняющие трещины-жилы, постепенно теряют свое монолитное состояние и превращаются в белые рыхлые пески с размерами зерен от 0,15 до 0,25 мм и редко более.

Изучением этих песков под микроскопом установлено, что они состоят в основном из кварца, в меньшем количестве из кальцита и в незначительном из глинистого вещества.

Белые, сравнительно равномерно-зернистые кварцевые пески, выполняющие трещины-жилы, некоторыми авторами, например М. А. Гатальским, отождествляются с песками пярнуских слоев, лежащих в основании толщи среднего девона.

Характерно отметить, что горючие сланцы и известняки на контакте с трещинами-жилами, вдали от зоны карстового нарушения, в большинстве случаев не обнаруживают сколь-либо заметного признака окисления или изменения по цвету. Эта контактовая часть чаще всего представлена тонкими (до 1 мм) прожилками сульфидных минералов. Внутри трещин-жил очень часто можно наблюдать прекрасно сохранившиеся обломки горючих сланцев с острыми углами, без признаков изменения цвета и прочности сланца.

К этим трещинам-жилам по их простиранию приурочена закарстованность слоев горючих сланцев с остаточной глиной, образующей зону карстового элювия. Некоторые исследователи Прибалтики зону карстового элювия выделяют как «трещины древнего карста», ширину которых определяют в 20—30 м (Асаткин, 1944; Левыкин, 1957). Такое истолкование, по мнению автора, является неправильным, ибо зона карстового элювия генетически не является трещиной, а лишь производной от трещин-жил и своим происхождением обязана прежде всего коррозийной деятельности подземных вод.

Трещины второго типа проявляются в наличии микросбросов с ясно выраженным зеркалом скольжения, являющихся, по-видимому, свидетелями вторичных заметных подвижек. Эти подвижки захватили, очевидно, в первую очередь ранее раздробленные, наиболее слабые участки (т. е. участки расположения трещин первого типа) и местами явились причиной образования широких зон тектонического дробления (в виде горстовой формы структуры), а также усиления карстового процесса.

Поверхность зеркала скольжения окрашена красновато-бурыми и зеленовато-синими примазками глины и местами покрыта кристалликами сульфидов и кальцита.

Амплитуда вертикальных смещений слоев по трещинам этого типа,

по наблюдениям в горных выработках, достигает 0,3—0,4 м, а по данным разведочного бурения — еще больших величин. Так, например, зона тектонического дробления в районе Ахтме прослежена на юго-запад по простиранию на расстояние до 25 км и имеет ширину от 200 до 1500 м. По этой зоне дробления юго-восточное крыло структуры опущено относительно северо-западного на 13—15 м. Эта зона, по-видимому, представляет ряд ступенчатых сбросов (а не является флексурой, как это предполагали ранее при детальной разведке бассейна в 1945—1946 гг.) и обязана своим происхождением незначительным и неоднократным перемещениям слоев вдоль трещин-жил северо-восточного простирания.

* Аналогичная, но более сложная зона тектонического дробления шириной от 400 до 850 м выявлена в 1950 году в районе р. Кунда, где северо-западное крыло лежит ниже юго-восточного в среднем на 20 м.

Зоны тектонического дробления с амплитудой смещения от 7 до 20 м были выявлены также и на Гдовском месторождении горючих сланцев.

Вблизи этих зон тектонического дробления породы также нарушены и смяты в складки; известняки, как правило, доломитизированы, а слои горючих сланцев или осложнены множеством трещин, или отсутствуют, и на месте их вскрыта остаточная глина. В доломитах отмечены каверны, а по трещинам в них — зеркала скольжения под углом от 15 до 90°.

Эти зоны тектонического дробления с карстовыми явлениями имеют также кулисообразное расположение в плане, и в центральном районе описываемого месторождения они располагаются (пока по неполным данным) примерно через 1—4 км друг от друга и значительно чаще (200—500 м) — на Гдовском месторождении. Таким образом, трещины этого типа имеют региональный характер.

Выделенные автором трещины первого типа с последующими вертикальными смещениями по ним, с суммарной амплитудой до 20 м (на фоне более спокойного залегания ордовикских и силурийских известняков), по-видимому, представляют собой структурные трещины-уступы, образовавшиеся, по мнению М. А. Гатальского, в результате вертикальных перемещений отдельных участков кристаллического фундамента.

Трещины третьего типа имеют почти те же простирания и падения, как описанные выше трещины первого и второго типов, и также пересекают толщу осадочных пород почти вертикально, но отличаются от первого типа трещин материалом заполнения и от второго — отсутствием заметных вертикальных смещений. В них мы не обнаруживаем характерных для первого типа трещин, заполненных белым кварцевым песком, сцементированным сульфидами и карбонатами, а имеем рыхлый глинистый материал с щебенками известняка (трещинный делювий). Местами заполняющие эти трещины материалы размыты подземной водой. Эти трещины встречаются редко, и их очень трудно установить в горных выработках. Ширина этих трещин обычно невелика и колеблется в пределах 0,5—2,0 см, реже больше.

Трещины четвертого типа отличаются от предыдущего тем, что толщу осадочных пород они не пересекают по одной вертикальной плоскости, а на отдельных интервалах по глубине образуют коленообразные изгибы. Аналогичные трещины нами установлены в выработках некоторых шахт («Кява-2», «Кукрузе», №№ 2, 10 и др.). Эти трещины также заполнены глинистым материалом (трещинный делювий), который местами размыт водой. Ширина их больше, чем у трещин третьего типа, и колеблется от 0,5 до 3 см и более.

Трещины «карстовой тектоники» приурочены к зонам закарстованных нарушений. Выщелачивание сланца подземной водой

вызвало уменьшение первоначального объема сланцевых слоев за счет выноса из них органического вещества и части карбонатов, составляющих примерно 50—60% массы породы. В результате постоянно действующего горного и гидростатического давления пород всяческого бока происходило уменьшение общей мощности пород в пределах сланцевых слоев, которое сопровождалось образованием боковых трещин. Большое значение при этом, по-видимому, имели последующие физико-химические процессы по этим боковым трещинам как в толще сланцев, так и в толще вмещающих известняков.

Трещины «карстовой тектоники» простираются примерно параллельно зоне карстового нарушения и, захватывая полосу значительной ширины по периферии этой части зоны, образуют зоны карстового дробления и карстовой трещиноватости. Ширина этих трещин колеблется в широких пределах — от одного миллиметра до нескольких сантиметров. Стенки трещин карстовой тектоники имеют неровную поверхность и большей частью покрыты кристалликами сульфидов и кальцита.

В зоне трещин «карстовой тектоники» нами установлено наличие эманации радиоактивных элементов, а также уменьшение плотности пород.

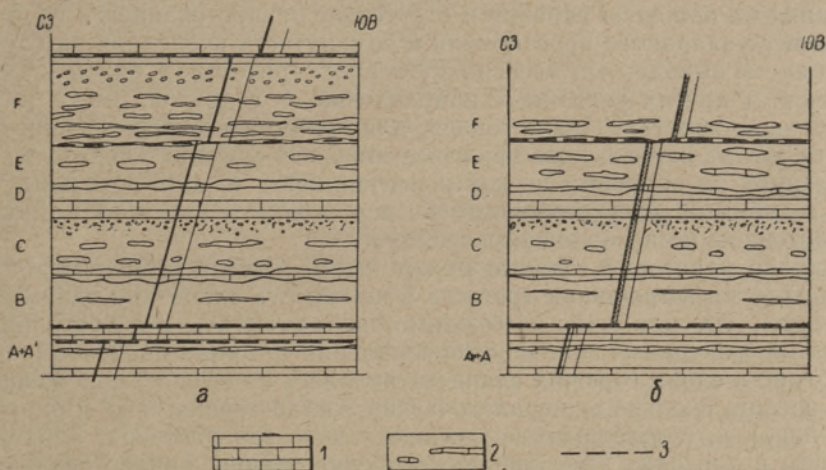


Рис. 4. Горизонтальное смещение слоев по плоскостям напластования. Трещины заполнены или кальцитом с сульфидными минералами, или песчаником с сульфидными минералами. Зарисовки: *a* — в сборном штреке лавы № 13—14 шахты № 8; *б* — в I панельном штреке шахты № 10. Масштаб 1:50. 1 — известняк; 2 — горючий сланец с включением сростков известняка; 3 — глинистые пропластки.

В пределах зоны карстового дробления и зоны карстовой трещиноватости местами наблюдаются также и горизонтальные смещения пород до 0,5 м (рис. 4). Учитывая небольшую глубину расположения горизонтальных смещений от поверхности земли (20—40 м), причину этих смещений в пределах зоны карстового дробления в юго-восточном направлении, по-видимому, можно объяснить действием материкового льда.

Общий коэффициент трещиноватости, представляющий собой отношение поверхности, отвечающей полному сечению трещин, к общей поверхности данной породы в выработке, составляет примерно 0,001.

3. Возраст тектонических трещин

Время образования трещиноватости горных пород ордовика обычно принято относить к каледонскому циклу орогенеза. Но длительные континентальные условия, наступившие здесь в конце палеозоя и в мезозое и последовавшие затем ледниковые явления, а также колебательные движения земной коры, весьма осложнили условия залегания пород и поэтому установление возраста тектонических нарушений затрудняется.

Наличие тектонических трещин (диаклаз) в районе месторождения горючих сланцев А. Х. Луха (1948) связывает с эпейрогеническими движениями земной коры.

Трещины-жилы северо-восточного направления секутся трещинами северо-западного направления, что указывает на более ранний возраст первых; трещины-жилы северо-восточного направления по возрасту принято относить к додевонскому, а трещины северо-западного направления — к последевонскому времени.

Возраст трещин северо-западного направления М. А. Гатальский относит к варисцидской фазе складчатости, к которой он приурочивает также и «оживление старых уже закарстованных и закольматированных трещин северо-восточного простираения». При этом М. А. Гатальский, принимая во внимание закарстованность трещин северо-восточного простираения на большую глубину и отсутствие закарстованности по трещинам северо-западного простираения и сомкнутость последних на глубине, приходит к выводу, что «северо-восточные трещины, с одной стороны, и трещины других указанных направлений — с другой, имеют различные базисы карста». Иначе говоря, для северо-восточных трещин базис карста лежит ниже основания известнякового массива «вплоть до подстилающих их оболочных песков и песчаников», а для остальных трещин — «близок к современному базису эрозии. Поэтому эти трещины закарстованы не на большую глубину».

Однако карстовый процесс может иметь место в трещинах-жилах и отсутствовать в трещинах третьего и четвертого типов при одном и том же базисе. Прежде всего необходимо здесь отметить, что благоприятствующими факторами для карстопроявления в толще осадочных пород (особенно в слоях горючих сланцев) являлось не столько положение базиса эрозии, сколько минералогический состав трещин-жил и окружающих пород и, соответственно, химический состав раствора, циркулировавшего в пределах этих трещин, особенно трещин напластования. Поэтому отнесение трещин к тому или иному возрасту и базису карста по наличию или отсутствию в данной трещине карста не совсем обосновано. И тем более, что трещины северо-восточного простираения, как это описано выше, подразделяются морфологически и по материалу заполнения на четыре типа, которые, очевидно, имеют различный возраст.

Разрывы сплошного залегания пород и сопровождающие их микросбросы, местами с ясно выраженной плоскостью скольжения, образовались позже трещин-жил, по-видимому в начальной стадии процесса карстопроявления, по трещинам первого типа и значительно облегчили и усилили этот карстовый процесс.

Если принять во внимание, что трещины-жилы и микросбросы по возрасту относятся к додевонскому времени — каледонской фазе складчатости, — то выделенные выше трещины третьего типа относительно моложе предыдущих и своим происхождением обязаны, очевидно, варисцидской фазе складчатости.

Возраст тектонических трещин северо-восточного простираения четвертого типа, по мнению автора, значительно моложе возраста выше-

описанных трещин, и по возрасту эти трещины можно отнести к послевариссидийской фазе. Не исключена также возможность, что некоторые из них своим происхождением или оживлением обязаны гляциотектонике и эпейрогеническим движениям земной коры.

Вопрос о возрасте тектонических трещин на Эстонском месторождении (да и в целом для Прибалтики) остается еще не решенным. Этот вопрос является предметом специального исследования и нуждается в неотложном дальнейшем изучении в свете требований горно-геологических условий выемки горючих сланцев.

4. Карстовые явления

Процессам закарстования в описываемом районе подвержена вся толща карбонатных пород, включая и промышленную пачку горючих сланцев. Карстовые явления на месторождении обычно принято подразделять на: а) древний карст или, как принято его называть, «недействующий», «мертвый» и б) современный карст, или «действующий», «активный».

Карст, развитый на территории Прибалтийского бассейна, М. А. Гатальский подразделяет по возрасту на древний, додевонский, «мертвый» карст и послевонский, или доледниковый, карст. По мнению М. А. Гатальского, доледниковый карст развивался и продолжает развиваться в настоящее время не только по тектоническим трещинам, но также по трещинам выветривания и плоскостям напластования слоев.

В. В. Левыкин (1947) пассивным карстом называет трещины, плотно закупоренные песчано-глинистым материалом, а активным карстом — пустоты и трещины, не заполненные глиной. Если принять такое истолкование понятия «пассивного» и «активного» карста, то легко можно убедиться, что при этом совершенно не принимается во внимание сущность карстового процесса. Такое истолкование в нашем случае действительно может привести к выводу об отсутствии в настоящее время карстового процесса в слоях горючих сланцев.

По мнению автора, также не совсем правильно отождествлять «древний» карст с «мертвым» («древний» — это еще не обязательно «мертвый»), тем более для силурийского плато, где закарстованные породы осадочного комплекса находятся значительно выше современного (местного) и древнего (погребенные долины) базисов эрозии, а также их общего базиса эрозии — уровня Балтийского моря. Как известно, карстовые явления в промышленном пласте горючих сланцев, вскрытые горными выработками, находятся на отметках +60 +20 при расстоянии от берега моря всего лишь от 3 до 15 км. К тому же, такое отождествление не увязывается с последующим указанием М. А. Гатальского о том, «что карст хотя и медленно, но активно проявляется и ниже уровня подземных вод». Следовательно, в данном случае не может быть и речи о наличии «мертвого» или, как еще принято его называть, «недействующего», «пассивного» карста. Карстообразование в слоях горючих сланцев на описываемом месторождении, таким образом, продолжается и в настоящее время. Оно связано не столько с большой скоростью движения, сколько с химическим составом раствора подземных вод. При этом необходимо лишь различать степень интенсивности развивающегося карстового процесса, хотя бы по характеру плотности сложения материалов заполнения, особенно на контакте с зоной «порченного сланца». Например, материалы заполнения зоны закарстованного нарушения на шахте № 1 Гдовского месторождения (с абс. отметкой около —45),

вскрытой в конце 1951 года, сохраняют свое плотное строение в течение более одного года, и выработки держатся без крепления, чего никак нельзя сказать о зонах нарушений, вскрытых на шахтах Эстонского месторождения горючих сланцев (абс. отм. +60 +20). В последней остаточная глина на месте слоев горючих сланцев (особенно вблизи контакта их со сланцами) находится в пластичном и даже местами в текучем состоянии.

Основная часть территории Эстонского месторождения (северная половина) находится в зоне окисления и постоянного водообмена, и карстовый процесс в пределах ее развивается более интенсивно, тогда как южная половина территории Эстонского месторождения и территория Гдовского месторождения находятся в зоне восстановительной среды, и карстовый процесс развивается там значительно медленнее (см. рис. 3).

Карстовые явления в северной части территории описываемого месторождения относятся к средневропейскому («закрытому») типу, и наиболее приемлемым для данных условий является подразделение их на глубинные и поверхностные; и те и другие относятся в основном к действующему, активному карсту.

Выделение М. А. Гатальским доледникового карста вполне естественно. Однако этот карст настолько видоизменен и нивелирован последующей деятельностью ледников, что трудно поддается выделению из серии форм рельефа коренных пород, обязанных своим происхождением действию гляциотектоники. Доледниковый карст пока совершенно не изучен, и в данной работе он отдельно не рассматривается.

Поверхностные карстовые явления встречаются в небольших речных долинах, в искусственных дренажных канавах и реке на водораздельном плато самого разнообразного, как по форме, так и по стадиям образования, характера. Характерным примером карстовых воронок в речных долинах являются воронки, приуроченные к ухаускому горизонту в долине р. Эрра (северо-восточнее шахты «Кивийли»), детально исследованные К. Орвику (Orviku, 1940). На поверхности земли карстовые явления проявляются по зонам глубинного карста, приуроченным к трещинам северо-восточного простирания, а также по трещинам северо-западного простирания и по трещинам, приуроченным к плоскостям напластования. По данным гидрогеологических скважин, глубина развития карстовых явлений определяется в 25—30 м от поверхности земли.

Поверхностные карстовые явления играют большую роль в поглощении атмосферных и талых вод и в обводнении горных выработок.

Ниже дается более подробное описание глубинного карста согласно представлениям автора.

5. Морфология глубинного карста

К глубинному карсту относятся зоны закарстованных нарушений, широко развитые по трещинам-жилам северо-восточного простирания.

На основании многочисленных обследований по горным выработкам шахт треста «Эстонсланец» автор находит возможным выделить (последовательно от периферии к центру зоны карстового нарушения) пять зон, которые приводятся на идеализированных разрезах карстового нарушения: зоны карстовой трещиноватости, карстового дробления, карстового оруденения, карстового окисления и карстового элювия (рис. 5 и 6).

Такой последовательный переход от слоев горючих сланцев с нормальным залеганием к зоне карстового элювия наблюдается в горных

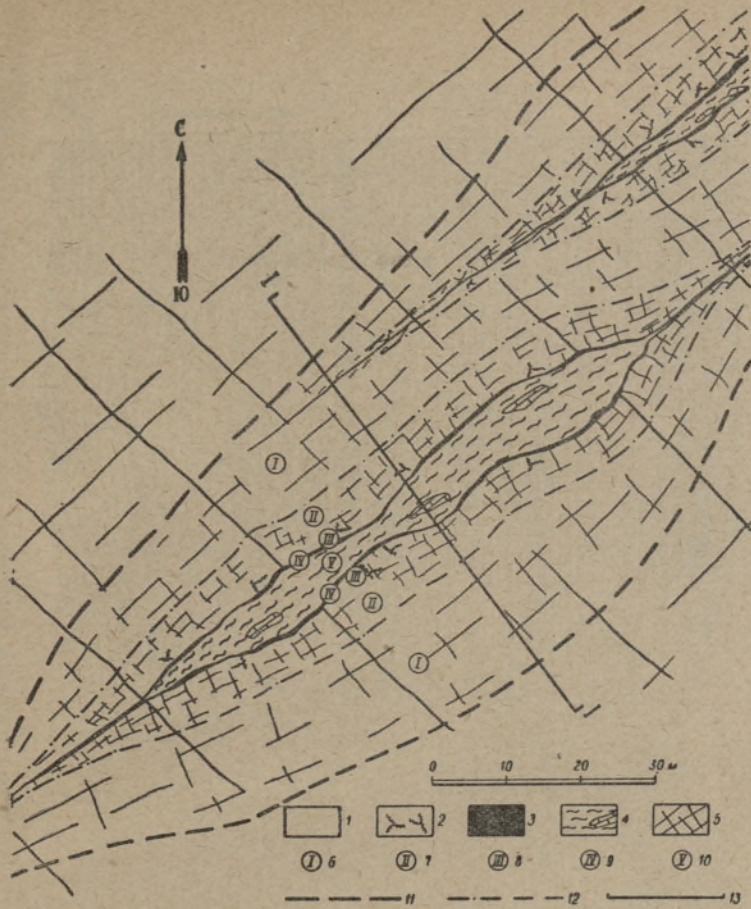


Рис. 5. Идеализированный горизонтальный разрез зоны закарстованного нарушения по горизонту промышленной пачки горючих сланцев. 1 — нормальный горючий сланец; 2 — прожилки с сульфидными минералами и кальцитом; 3 — окисленный горючий сланец; 4 — глина с включением обломков доломитизированных известняков; 5 — трещиноватость горных пород; 6 — зона карстовой трещиноватости; 7 — зона карстового дробления; 8 — зона карстового оруденения; 9 — зона карстового окисления; 10 — зона карстового элювия; 11 — граница зоны закарстованного нарушения; 12 — опасная граница ведения подземных работ; 13 — линия вертикального разреза (см. рис. 8).

выработках большинства шахт описываемого района, и величина этих зон зависит от степени интенсивности развития карстового процесса.

Остановимся подробнее на описании этих карстовых зон в горизонтальном срезе по промпласту и в вертикальном разрезе вкрест простирания нарушения.

В горизонтальном срезе (рис. 5). Как уже упоминалось выше, в удалении от зоны закарстованного нарушения, на контакте горючих сланцев с монолитными песчаниками трещин-жил, признаки окисления и выщелачивания сланцев наблюдаются в слабой степени (рис. 7а). Здесь имеет место лишь некоторая выветрелость пород, но без особого изменения их состава и первоначальной окраски. Сланец более влажный и менее крепкий. Кровля выработок на этом участке менее устойчивая,

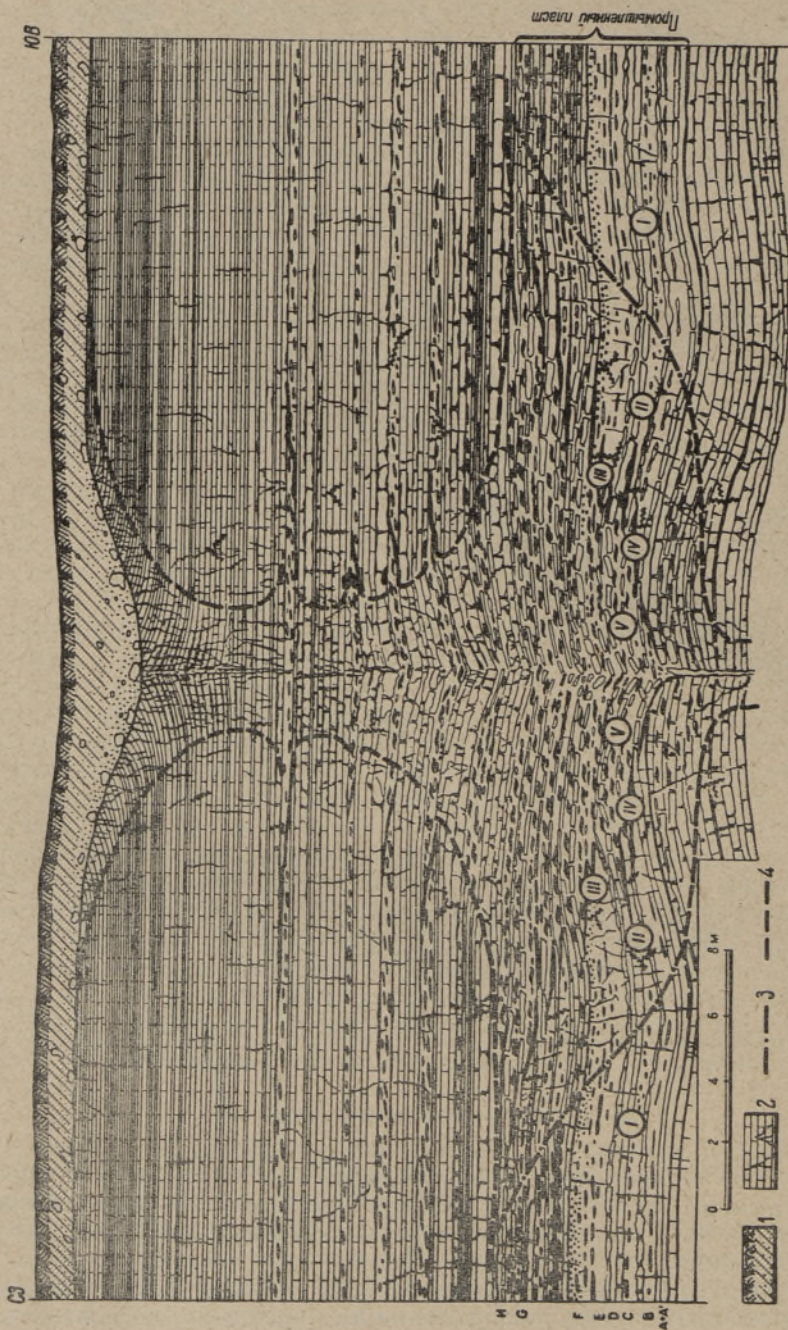


Рис. 6. Идеализированный вертикальный разрез зоны закарстованного нарушения вкост его простирает. 1 — растительный слой, песок, суглинок, валуны; 2 — известняк трещиноватый; 3 — опасная граница ведения подземных работ; 4 — условная граница зоны закарстованного нарушения выше и ниже промышленного нарушения. Остальные обозначения те же, что и на рис. 5.

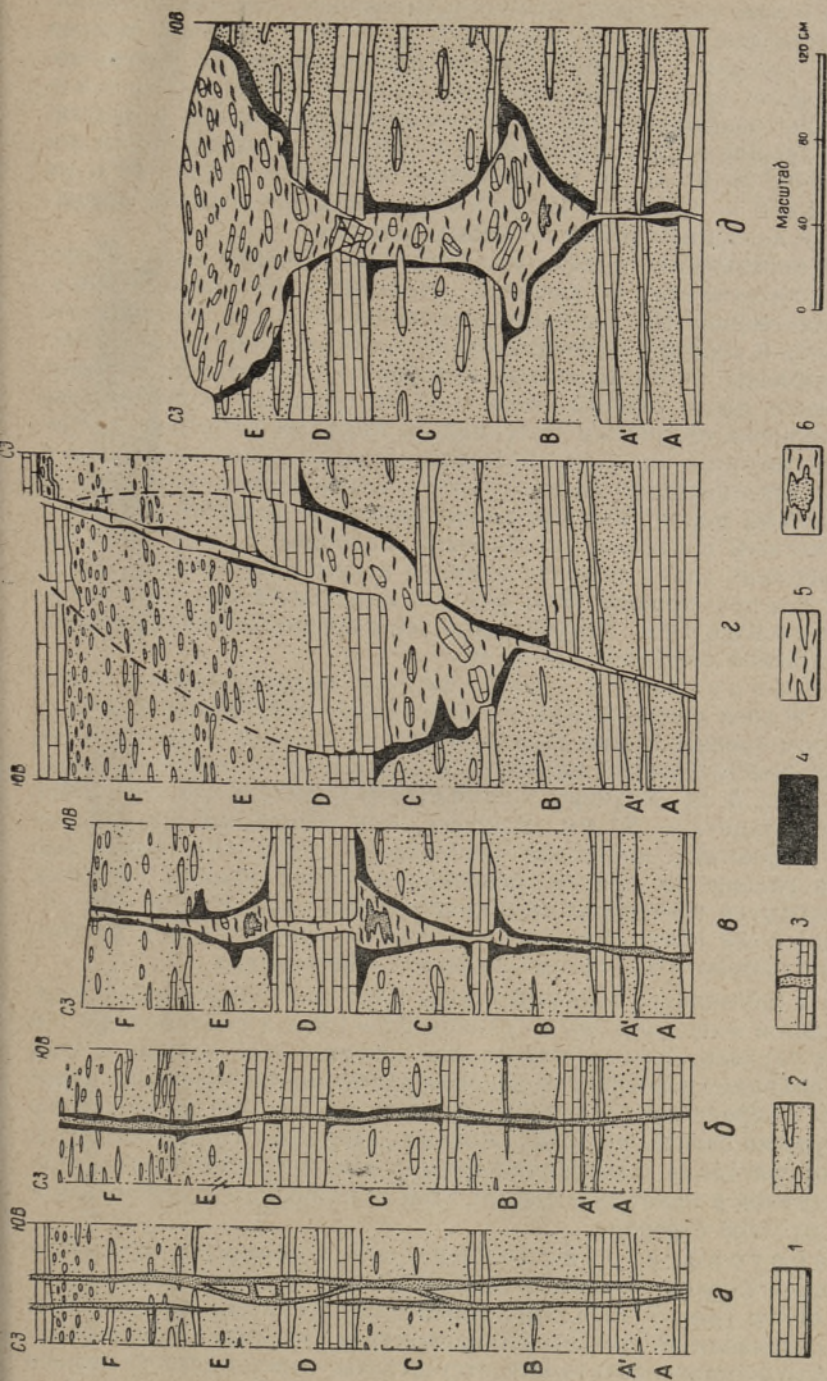


Рис. 7. Зоны закарстованного нарушения на продолжении трещин-жил северо-восточного простирания. Зарисовки: а — в восточном штреке шахты № 8; б и в — в XVI панельном штреке шахты «Кургузе»; г — по западной стенке II западного панельного штрека шахты № 2; д — в лаве № 7 шахты № 2. 1 — известняк трещиноватый; 2 — горячий сланец с включением сростков известняка; 3 — трещина, выполненная кварцевым песком, сцементированным сульфидами и карбонатом; 4 — окисленный горячий сланец; 5 — остаточная глина зоны карстового элювия; 6 — песчаный материал в остаточной глине, заполнявшей трещины-жилы.

гипсометрия подошвы промпласта неровная, отмечен выход воды в выработки из горизонтальных трещин и капез воды из кровли. По мере приближения к зоне карстового элювия установлены, как уже упоминалось, горизонтальные смещения пород (см. рис. 4) и наличие мелких вертикальных трещин с преобладающим простиранием на северо-восток. Этот участок выделяется как зона карстовой трещиноватости. Она окаймляет зону закарстованного нарушения и простирается вдоль трещин-жил. Ширина зоны карстовой трещиноватости достигает на шахте № 10 — 120 м, на шахте «Кукрузе» — 20—40 м, на шахтах №№ 6 и 8 — 15—25 м. Везде в этих зонах значительно осложняется ведение подземных работ по добыче сланца.

Далее по протяжению трещин-жил песчаники теряют свою первоначальную монолитность и крепость, становятся рыхлыми, превращаются в мелкозернистый, однородный кварцевый песок. На контакте этих песчаников и песков с горючими сланцами последние сильно выветрелые, раздроблены, легко крошатся, приобретают буроватую окраску, местами темного, почти черного цвета (рис. 76). Обычно периферийные трещины заполнены глинистым материалом. Местами встречаются трещины, стенки которых покрыты налетами и прожилками сульфидов и кальцита. Кровля выработок на этом участке неустойчивая, имеют место внезапные вывалы пород. Участок характеризуется большой обводненностью и заметным подъемом гипсометрии подошвы пласта (рис. 8). Местами в верхних слоях горючих сланцев вскрыта остаточная глина, образующая ложную кровлю. Этот участок выделяется как зона карстового дробления. Ширина этой зоны сравнительно выдержанная и колеблется в пределах 10—20 м.

Под зоной карстового оруденения подразумевается узкая прерывистая полоса спорадически разбросанных, неправильных и причудливых форм трещин и жил в слоях горючих сланцев и известняков, выполненных кристалликами кальцита и сульфидов — пиритом, галенитом и др. (рис. 5, 9). Размеры кристалликов пирита в них достигают 7—16 мм, а кальцита — 50 мм. Вскрыта, как единичный случай, на шахте № 2 небольшая прожилка (мощностью до 70 мм), полностью выполненная галенитом, причем поверхность кристалликов галенита оказалась покрытой тонкозернистым кварцевым песком. В 1954 году галенит и пирит были обнаружены в трещинах перекрывающих известняков из зоны карстового нарушения на шахте «Вийвиконд».

Эта зона в промпласте окаймляет зоны карстового окисления и карстового элювия и имеет ширину в среднем 0,5—1,0 м и реже больше, а в большинстве случаев она отсутствует. На контакте этих трещин и жил с горючими сланцами в последних местах наблюдается изменение цвета в розоватые и сероватые тона, но в большинстве случаев по внешнему признаку горючие сланцы не обнаруживают заметных следов окисления. В результате срастания и закупорки трещин и жил кристалликами указанных минералов в некоторых местах этой зоны породы приобрели монолитное и плотное строение.

Зона карстового окисления почти повсеместно окаймляет зону карстового элювия; мощность ее в среднем 3—5 см и редко достигает до 10 см и более (рис. 7, 8, 9, 10). Значительно большая ширина зоны карстового окисления по шахтам «Вийвиконд» и «Кохтла», видимо, связана с заболоченностью поверхности, отсутствием поверхностного стока и действием на горючие сланцы болотных вод. Эта зона в горных выработках хорошо выделяется своим почти черным цветом и получила название «порченого сланца». Горючие сланцы имеют здесь малый объемный вес (1, 25—1, 38) и большую пористость (~30%). Вблизи непосредственного

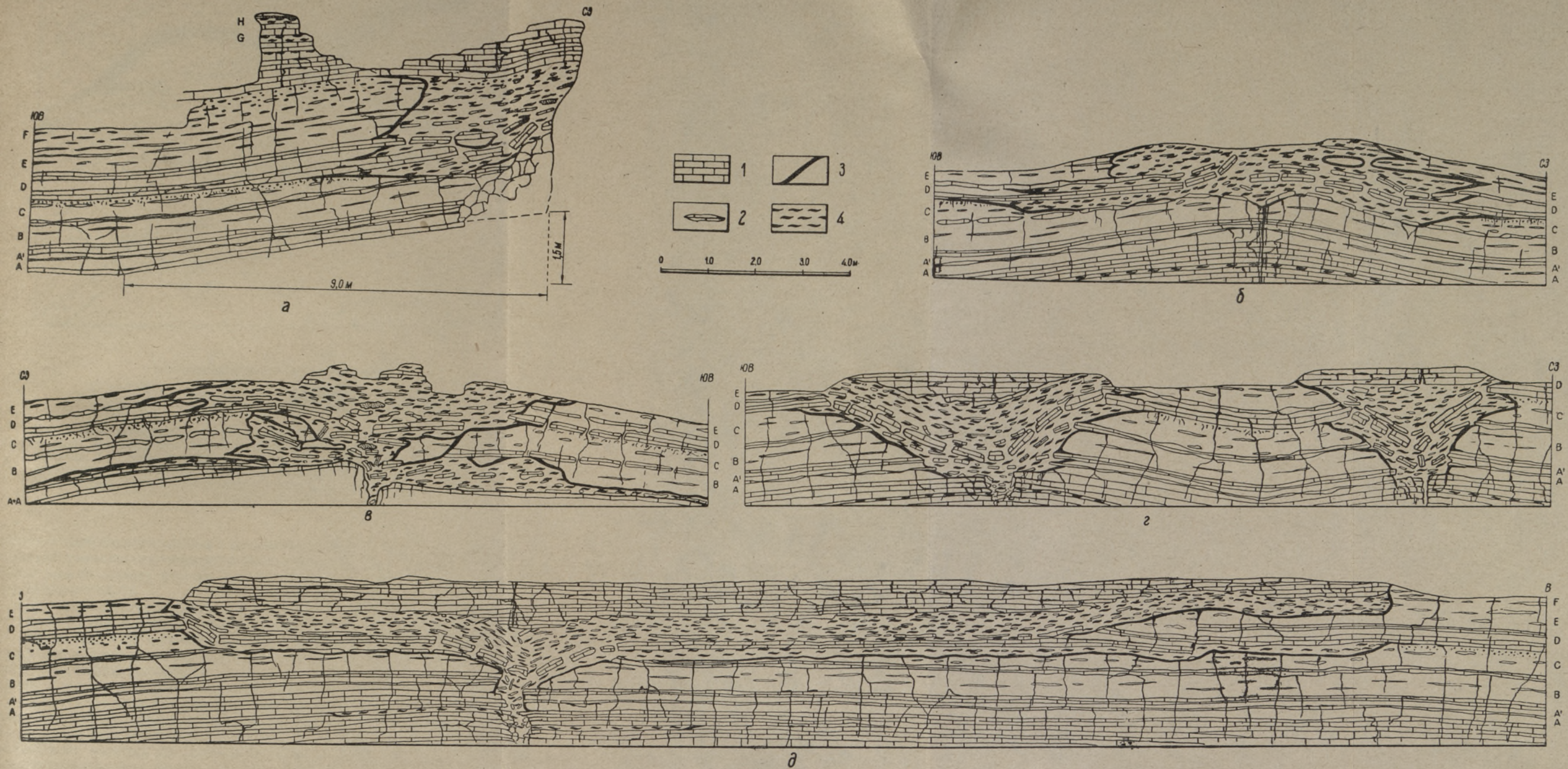
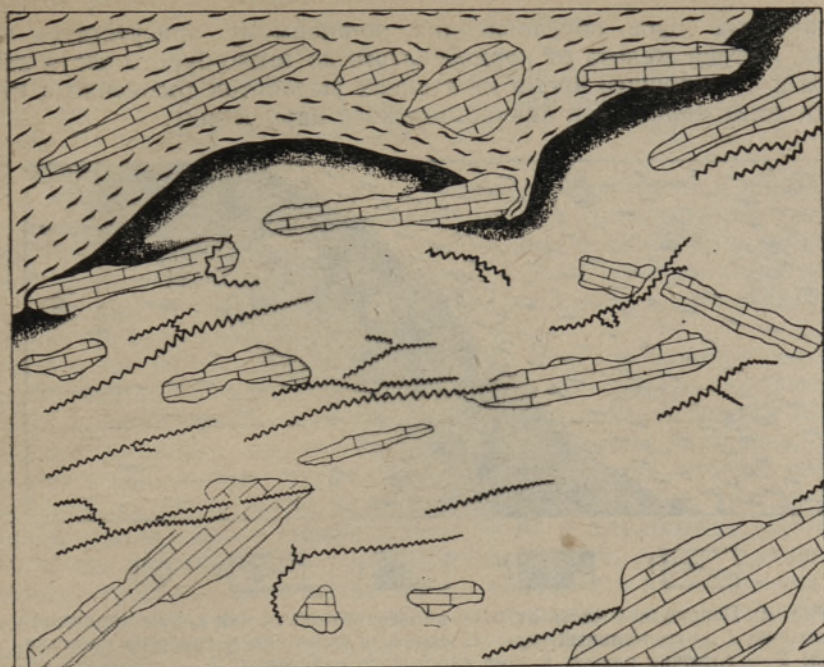


Рис. 8. Зоны карстового элювия на продолжении трещин-жил северо-восточного простирания. Зарисовки: *а* — по западной стенке X откаточного штрека шахты «Кукрузе»; *б* — по западной стенке сборного штрека лавы 13—14 шахты № 8; *в* — по восточной стенке V сборного штрека шахты № 10; *г* — по западной стенке II восточного вентиляционного штрека шахты № 2; *д* — по восточной стенке I восточного панельного штрека шахты № 2. Горизонтальный и вертикальный масштабы одинаковы. 1 — известняк; 2 — горючий сланец с прослоями известняка; 3 — горючий сланец в зоне карстового окисления; 4 — остаточная глина с обломками доломитизированных известняков в зоне карстового элювия.



0 20 40 60 80 см

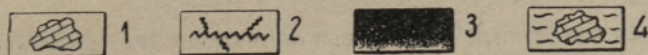


Рис. 9. Зона карстового оруденения. Зарисовка по кровле бортового штрека лавы 13 шахты № 8. 1 — горючий сланец с включениями сростков известняка; 2 — жилы сульфидных минералов и кальцита в зоне карстового оруденения; 3 — горючий сланец в зоне карстового окисления; 4 — остаточная глина с обломками доломитизированных известняков из зоны карстового элювия.

контакта окисленного сланца с остаточной глиной в сланце наблюдается заметное уменьшение мощности слоя и местами невооруженным глазом в нем можно видеть весьма тонкие прожилки глинистых материалов голубоватого цвета.

Наконец, выделяется зона карстового элювия, выполненная остаточной глиной. Глина — жирная, пластичная, голубовато-синего цвета; вблизи контакта с зоной карстового окисления глина менее плотная, имеет косую слоистость и большую влажность (до 40%), чем с середине зоны карстового элювия. В шахтах Гдовского месторождения глина обычно плотная и местами практически почти сухая.

На контакте глин с зоной карстового окисления местами наблюдается скопление (в виде тонкой прожилки) мелких обломков ракушек и песков. Характерная для кукрузеского горизонта фауна в глинах почти нацело выщелочена; изредка она встречается в виде мелких обломков. Фауна в доломитизированных известняках и в известняковых включениях сохранилась значительно лучше.

Значительная ширина зоны карстового элювия наблюдается по контакту горючих сланцев с прослойками известняков.

Местами окраска глины (особенно на Гдовском месторождении)

коричневатых тонов, обусловленная, по-видимому, присутствием окиси железа. Натёки железа от коричневатого до темно-бурого цвета наблюдаются и в настоящее время на стенках выработок (особенно в местах выхода воды вблизи зон закарстованного нарушения).

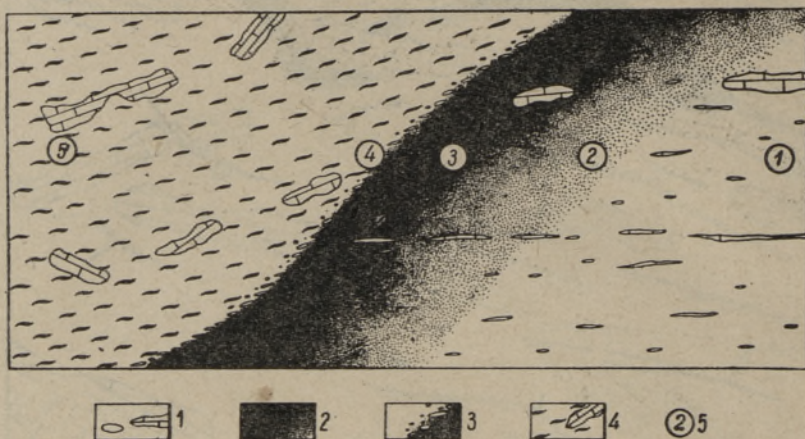


Рис. 10. Переходная часть от зоны карстового окисления к зоне карстового элювия. 1 — нормальный горючий сланец с включением сростков известняка; 2 — горючий сланец в зоне карстового окисления; 3 — скопление обломков ракушек и песчаных материалов; 4 — остаточная глина с обломками доломитизированного известняка в зоне карстового элювия; 5 — места отбора проб для исследования.

Прожилки кварцевых песков, выполняющих трещины-жилы, местами почти сохраняют свое первоначальное вертикальное положение среди глин или залегают в виде линз, образуя причудливые формы, или же в большинстве случаев представлены в виде тонких песчаных пропластов, трудно различимых в горных выработках (рис. 7в). Наряду с этим следует отметить, что в закарстованных зонах изредка встречаются линзы из неотсортированных песков (карстового делювия), привнесенных с поверхности.

Слои известняка и известняковые включения в горючих сланцах в зоне карстового элювия раздроблены, подвергнуты в основном процессу выщелачивания и доломитизации и расположены среди глин в виде чепочки, лишь с некоторым понижением их от первоначального положения (рис. 7г, 7д, 8).

Таким образом, зона закарстованного нарушения по промпласту в плане имеет вытянутую на северо-восток неправильную линзообразную форму, выполнена глинистыми материалами с обломками доломитизированных известняков и окаймлена раздробленными породами по периферии. Эти зоны в совокупности имеют четкообразную форму строения и кулисообразное расположение в плане, а также значительную ширину и протяженность.

В вертикальном разрезе (рис. 6) (вкрест простирания) зоны закарстованного нарушения имеют более сложную и неправильную форму. Зона карстового элювия в разрезе имеет форму опрокинутой елки. Ширина ее по направлению книзу уменьшается, и эта зона, соответственно, окаймляется зонами карстового окисления и карстового оруденения, имеющими небольшую мощность.

В пределах зоны карстового элювия почва промпласта обычно приподнята, а кровля — опущена.

Далее, по обеим сторонам ее выделяются зоны карстового окисления, оруденения и дробления, граница которых проходит примерно по оси так называемой предкарстовой мульды. Эта мульда небольшая по величине и сравнительно легко выделяется на шахтах №№ 10, 2 и «Кукрузе»; глубина ее составляет в среднем около 0,4 метра и реже больше. Эту границу автор называет опасной границей ведения подземных работ.

И, наконец, граница зоны карстовой трещиноватости с нормальным залеганием слоев горючих сланцев проводится по появлению признаков горизонтального смещения слоев, увеличению степени трещиноватости, волнистости гипсометрии подошвы промпласта и небольшому ее понижению, усилению капежа из кровли и скоплению воды в забоях выработок и по другим признакам.

Распространение зоны закарстованного нарушения ниже подошвы и выше кровли промпласта еще достаточно не изучено. По данным наблюдений в канавах, пройденных в водосборных штреках, в местах подрубки почвы в откаточных штреках, а также по разрезам разведочных скважин и вентиляционных шурфов можно предполагать, что эта зона распространяется значительно ниже подошвы промпласта. Так, например, около вентиляционного шурфа шахты № 10, в выработках шахты № 2, известняки, подстилающие промышленный пласт, сильно раздроблены, доломитизированы, промежутки между обломками их заполнены глинистым материалом, и в них изредка обнаруживаются кристаллики кальцита и сульфидов (рис. 8). Еще ниже содержание кальцита и сульфидов в известняках уменьшается, что подтверждается специально пройденными наклонными скважинами на шахте «Вийвиконд».

Верхние слои горючих сланцев — G и H — закарстованы на значительно большем протяжении, чем нижние, и местами, располагаясь над зоной карстового дробления, образуют ложные кровли. Детальной разведкой установлены многочисленные случаи отсутствия слоев G и H и вышележащих слоев горючих сланцев, а также наличие на их месте остаточной глины, причем промышленный пласт сохраняет свое нормальное строение.

Принимая во внимание характер литологического разреза пород (рис. 2), перекрывающих толщу промышленного пласта (переслаивание пропластков горючих сланцев, глинистых известняков и известняков), следует предполагать, что морфология зоны закарстованного нарушения здесь весьма сложная. Средняя мощность по границе зоны карстового дробления в известняках кровли, очевидно, меньше мощности самой зоны карстового элювия в промпласте, но в интервале залегания вышележащих слоев горючих сланцев она должна достигать значительно большей величины.

В пределах зоны выветривания зона карстового дробления увеличивается по ширине и осложнена последующими поверхностными карстовыми явлениями и деятельностью ледника. Наблюдающиеся при этом поднятия слоев коренных пород в виде слабых антиклинальных складок (рис. 6, 11) связаны, по-видимому, также с деятельностью ледника и протекавшими физико-химическими процессами.

На поверхностном рельефе зона закарстованного нарушения в основном не проявляется. Местами установлено лишь увеличение мощности четвертичных отложений, заполняющих отрицательные формы рельефа коренных пород и наличие поверхностных карстовых явлений.

Из вышеизложенного вытекает, что породы в пределах выделенной границы зоны карстового дробления образуют вертикальный экран и заметно отличаются по своим физическим свойствам (см. пунктирную ли-



Рис. 11. Деформация доломитизированных известняков над зоной глубинного карста в виде антиклинальной складки. Снимок сделан у карьера бутового камня на шахте № 2.

нию на рис. 5, 6). Однако следует отметить, что устанавливаемые автором границы зоны карстового дробления являются в известной мере условными, и в будущем, при вскрытии глубинного карста горными работами, необходимо уточнить их.

Развитие глубинного карста на территории описываемого месторождения, судя по мощности четвертичных отложений и глубине погребенных долин, достигает глубин более 100 м. Принимая же во внимание положение древнего базиса эрозии дна Балтийского моря, следует полагать, что глубина развития карстовых явлений для Прибалтики может достигать 300—400 м.

Приведенные данные позволяют установить следующие основные признаки, по которым можно судить о близости горных выработок к зонам закарстованных нарушений:

- 1) увеличение степени трещиноватости промышленного пласта сланца, особенно наличие горизонтальных трещин;
- 2) увеличение притока воды из кровли выработок и из забоев, особенно по горизонтальным трещинам пород (в более глубоких шахтах вода имеет запах сероводорода);
- 3) уменьшение прочности сланца, изменение его цвета в буроватые тона и доломитизация известняка;
- 4) волнистость гипсометрии подошвы промпласта;
- 5) неустойчивость кровли выработок.

6. К вопросу о происхождении глубинного карста

По вопросу происхождения глубинного карста на территории Эстонского месторождения, а также и за его пределами среди геологов отсутствует единое мнение. Между тем совершенно естественно, что изуче-

ние зон закарстованных нарушений невозможно без предварительного выяснения морфологии нарушений; последняя, как известно, предопределяется в основном сущностью карстового процесса.

Констатируя в зоне нарушения в районе Ахтме замещение горючего сланца-кукерсита глинистыми и песчанистыми материалами, А. Луха (1948) объясняет происхождение последних выщелачиванием грунтовыми водами больших полостей, «которые затем наполнились остатками растворения, равно как и принесенными по трещинам глинисто-песчанистыми веществами».

Общепринятым считается мнение, что на Гдовском месторождении в результате разрушения и размывания слоев горючих сланцев и прослоев известняков подземной водой образовались пустоты, которые затем заполнились материалами «девонской трансгрессии». В подтверждение данного мнения обычно приводится фауна рыб, найденная в глине карстовой зоны нарушения в районе Веймарна и относящаяся по возрасту к девонскому периоду. Так, например, по мнению М. А. Гатальского, материалы, заполняющие карстовые трещины и полости, представляют собой «с одной стороны, трещинный и карстовый делювий, образовавшийся в результате нарушения известняков, а с другой — отложения среднедевонской трансгрессии...»

Однако это не подтверждается данными наблюдений в выработках описываемого месторождения. Если считать, что карстовые полости заполнены привнесенным материалом, то имели бы место следующие признаки механической работы воды: эрозия с образованием куполов в толще промышленного пласта сланца; сглаженность пород на стенках карстовых пустот; скопления на дне их окатанных кусков пород и песков или беспорядочная разбросанность в толще глин прослоев известняков из промпласта; резкие переходы между глиной «девонской трансгрессии» и горючими сланцами. Поскольку образование карстовых полостей относят к додевону, то они должны были бы быть выполнены не столько глиной, сколько кварцевым песком пярнуского горизонта. Но указанные признаки не наблюдаются. Также не увязывается с таким представлением уменьшение мощности промышленного пласта в пределах закарстованного участка (подъем подошвы и опускание кровли пласта). Обследованиями зон закарстованных нарушений непосредственно в горных выработках шахт установлено ясно выдержанное расположение прослоев и включений известняков среди глин (рис. 8), что противоречит предположению о первоначальном образовании здесь полостей и затем заполнении их привнесенными материалами.

В. В. Левыкин (1952) опубликовал результаты исследований карстовых явлений и процессов карстования пород «на месторождении горючих сланцев Прибалтики», выполненных во ВСЕГЕИ в 1949—1951 гг. В своей работе он приводит ценные данные микроскопического изучения состава горючих сланцев и глин.

Данные В. В. Левыкина показывают «полное сходство структуры и петрографического состава горючих сланцев и глин и полное отсутствие морской водоросли *Glococapsomorpha prisca*, составляющей органическую массу сланцев...». В противовес данным Б. П. Асаткина (1944), В. В. Левыкин утверждает, что как в глине, так и в сланце «заключена исключительно нижнесилурийская фауна, типичная для кукерского горизонта, вмещающего промышленную пачку сланцев».

Однако В. В. Левыкин, по мнению автора, пришел к совершенно неправильному выводу. Он утверждает, что 1) «замещение горючих сланцев зеленовато-серыми песчано-глинистыми породами можно объяснить изменениями фациальных условий или 2) влиянием на органическое

вещество сланцев каких-то еще пока не установленных вторичных процессов, но отнюдь не карстового типа».

Таким образом, по мнению В. В. Левыкина, ранее высказанные предположения о наличии «глубоких трещин» и «сильной закарстованности» не соответствуют действительности, а существуют лишь «лжекарстовые явления», которые не связаны с трещинами северо-восточного простирания. Все это приводит его к заключению о меньшей значимости карста в режиме подземных вод месторождения, чем это представлялось ранее.

Далее, В. В. Левыкин пишет, что «во всяком случае оба предположения допускают образование песчано-глинистых пород «лжекарста» только одновременно с горючими сланцами (поскольку фауна в них общая) в одном водном бассейне и совершенно исключают возможность образования их в результате привноса девонского материала по трещинам».

Наконец, следует отметить, что В. В. Левыкин свое предположение строит исходя из сопоставления закарстованных зон нарушения с положением современного базиса эрозии и совершенно не учитывает палеогеографических условий периода осадконакопления и последующих периодов.

Автор не имеет возможности остановиться более подробно на критическом анализе этой работы В. В. Левыкина и отмечает лишь следующее. Трудно представить себе изменение фациальных условий осадкообразования горючих сланцев на дне моря (глубиной минимум 200 м) на участке шириной от одного до нескольких десятков метров и протяженностью 100—300 м. Остается совершенно необъяснимым их весьма выдержанное северо-восточное простирание, не говоря уже о трещинах-жилах, которые являются обычно продолжением «лжекарстовых» явлений. Таким образом, В. В. Левыкин совершенно игнорирует роль «трещин-жил» в процессе «лжекарстовых явлений».

Отмечая приуроченность глубинных карстов к слабым, но все же довольно ясно выраженным куполовидным поднятиям, Н. П. Шведчикова в одном из своих отчетов указывает, что «карстовые явления прежде всего захватывали эти куполовидные формы структуры района».

Однако следует различать куполовидные поднятия, связанные с колебательными движениями земной коры и с карстовой тектоникой. Куполовидным поднятиям, связанным с общей тектоникой района и сопровождавшимся образованием концентрированных трещин в толще карбонатных пород, скорее всего обязаны своим происхождением поверхностные карстовые явления и эрозионные размывы коренных пород (например, в районе шахты «Вивиконд», ж.-д. станции Сонда, и др.). Что касается куполовидных поднятий, связанных с глубинными карстовыми явлениями, то их происхождение связано с карстовой тектоникой. Эти куполовидные поднятия обычно имеют небольшие размеры и северо-восточное простирание. Местами карстовые явления в промышленном пласте горючих сланцев наблюдаются при отсутствии куполовидных структур.

Такое толкование процесса карстообразования привело к неправильному представлению о происхождении и морфологии зон закарстованных нарушений в Прибалтийском сланцевом бассейне и о природе заполняющего их материала.

Как известно, карбонатные породы и горючие сланцы сами по себе практически водонепроницаемы. Пути развития глубинных карстовых явлений в описываемом районе служили тектонические трещины северо-восточного простирания, пересекающие различные по литологическому составу породы.

Известно, что известняк в природных условиях растворяется с различ-

ной скоростью, и более чистые разности его быстрее поддаются выщелачиванию, чем глинистые. Однако карбонатная толща пород описываемого района отличается своей тонкослонистостью и значительной глинистостью. Поэтому карстовые явления в них развиты намного слабее по сравнению с карстовыми явлениями в карбонатных породах Кизеловского бассейна, в Крыму и других аналогичных районах Советского Союза; они отличаются также по своей природе и морфологии. Подтверждением этому, помимо данных химического анализа проб, может служить то обстоятельство, что при эксплуатации открытыми карьерами шахт «Кява», «Кохтла», «Кюттейюд» и «Вийвиконд», а также при проходке стволов шахт, шурфов, скважин и др. выработок на полях остальных шахт не было установлено карстовых пустот в перекрывающих и подстилающих промышленный пласт известняках, за исключением мелких полостей по плоскостям напластования, заполненных материалом трещинного деления. Это дает автору основание сомневаться в существовании здесь крупных карстовых пустот, заполненных водой; в возможности крупных прорывов воды в горные выработки шахт и затоплении их.

Как уже указывалось выше, горючие сланцы (за вычетом влаги) состоят в основном из трех составных компонентов: органического вещества — около 40%; карбонатов кальция и магния — около 40% и терригенного материала, составляющего пелитовую группу (глину), — 15—25%.

Горючие сланцы значительно отличаются от известняков как по химическому и петрографическому составу, так и по физическим свойствам. Да и в самих слоях горючих сланцев, образовавшихся в течение сравнительно короткого отрезка геологического времени, установлено существенное различие в химическом составе и механической прочности пород, что ведет к различию в степени сопротивляемости слагающих пород химическому выщелачиванию (коррозии) и механическому разрушению (эрозии).

Так, например, данные наблюдений за состоянием сланца на поверхности в старых отвалах шахт показывают, что горючие сланцы в целом сравнительно легко разрушаются и выщелачиваются под действием атмосферных агентов (по сравнению с карбонатными породами), изменяясь почти до состояния глинистой массы.

Установлено, что органическая часть горючих сланцев (кероген) в природных условиях может легко подвергаться окислению в течение сравнительно короткого времени.

С целью выяснения природы глин в карстовой зоне были отобраны пробы сланца (из зон карстового оруденения и карстового окисления) и глины (из зоны карстового элювия) по различным слоям и из разных шахт. Эти пробы подвергались химическому и термическому анализам и изучению под микроскопом, выполненным в лабораториях Таллинского политехнического института (А. Аарна и Б. Торпан), Института химии (Т. Е. Алумяэ) и Института строительства и строительных материалов АН ЭССР (Н. Л. Дилакторский), а также в лабораториях шахт треста «Эстонсланец».

Так, для исследования были отобраны пробы по схеме, приведенной на рис. 10.

Результаты химических анализов проб приводятся: по данным лабораторий шахт — в табл. 1 и по данным лаборатории Таллинского политехнического института — в табл. 2.

Результаты химического анализа проб показывают, что по мере перехода от нормального сланца к глине имеет место постепенное уменьшение органической части горючих сланцев (с 55 до 25%) и, соответственно,

Таблица 1

Шахта	Слой	Проба	Влаж- ность, %	Анализ на сухую пробу					
				СО ₂ , %	минер- альная зола АС, %	орга- ниче- ская часть, %	кало- рий- ность, ккал/кг	выход смолы по Фишеру	
								от сланца %	от органи- ческой части, %
Шахта № 2	Е	1	11,64	10,3	34,5	55,2	4960	37,0	67,0
" "	Е	3	14,98	17,3	57,2	25,5	2000	10,0	39,2
" "	Е	5	28,30	4,4	92,2	3,4	—	—	—
" „Кукрузе“	Е	1	16,40	11,3	37,8	50,9	4580	34,5	67,8
" "	Е	2	18,58	11,5	38,7	49,8	4230	29,6	59,5
" "	Е	3	10,76	12,3	46,2	41,5	3250	16,0	38,6
" "	Е	4	12,78	28,8	68,3	2,9	—	—	—
" "	Е	5	26,88	2,3	94,3	3,4	—	—	—
" "	Е	1	12,16	10,9	37,7	51,4	4660	35,0	68,0
" "	В	2	17,64	12,8	38,9	48,3	4100	29,0	60,0
" "	В	3	18,44	13,8	47,0	39,2	3160	15,2	38,8
" "	В	4	12,66	27,7	68,7	3,6	16	—	—
" "	В	5	25,80	5,0	92,5	2,3	—	—	—
" "	А	1	15,30	12,4	38,2	49,0	4380	32,9	67,0
" "	А	2	19,30	11,9	37,6	50,5	4320	30,9	61,0
" "	А	3	17,52	15,6	46,6	37,8	3050	14,2	37,8
" "	А	4	17,69	20,1	72,9	7,0	38	—	—
" "	А	5	17,54	17,3	79,5	3,2	—	—	—

уменьшение процента выхода смолы на органическую массу (с 67 до 38%). По данным Т. Е. Алумяэ (1954), содержание углерода в органической части горючих сланцев уменьшается с 77,40% (проба 1) до 76,18% (проба 3) и содержание водорода — с 9,74 (проба 1) до 7,94% (проба 3).

По мере перехода от нормального сланца к «порченому» сланцу температура вспышки снижается с 325 до 284°C, что, по-видимому, объясняется увеличением содержания кислорода в пробах. Если содержание кислорода в нормальном сланце колеблется в пределах 10,5—12,7%, то в пробах сланца из зоны выветривания оно достигает 20%. Следовательно, уменьшение органического вещества в горючих сланцах происходит за счет его окисления.

Реакция выщелачивания карбонатов в сланце, видимо, наступает несколько позднее. Результаты химического анализа проб показывают, что во всех случаях по мере перехода от нормального сланца к остаточной глине постепенно увеличивается содержание углекислоты (СО₂) с 10% (проба 1) до 29% (проба 4), а в глине из зоны карстового элювия, наоборот, снижается до 2%. Относительное увеличение при этом содержания СО₂ и СаО может быть объяснено наличием труднорастворимых ракушек в сланце, а также, возможно, привнесом их подземной водой.

Кроме того, данные химического состава неорганической части горючих сланцев и остаточной глины показывают их тождественность, и отношения в них суммарного содержания кварца и полевого шпата на общий кремнезем дают близкие между собой результаты — около 0,8.

Приближенный минералогический состав неорганической части четырех проб дан в табл. 3.

Таблица 2

Показатели	Содержание на воздушно-сухую пробу, %				Содержание на безводную неорганическую часть, %			
	проба 1	проба 2	проба 3	проба 4	проба 1	проба 2	проба 3	проба 4
H ₂ O гигр.	1,64	1,35	3,11	0,38	—	—	—	—
CO ₂	10,77	15,73	17,96	29,15	25,1	31,1	32,8	29,4
SiO ₂	10,92	9,18	8,57	20,34	25,5	18,1	15,7	20,4
Al ₂ O ₃	3,67	2,62	2,63	7,16	8,6	5,1	4,8	7,2
CaO	13,77	19,92	22,19	36,08	32,1	39,4	40,5	36,3
MgO	0,91	0,66	0,64	1,06	2,1	1,3	1,2	1,1
FeS ₂	0,78	0,83	1,21	0,88	1,8	1,6	2,2	0,9
Fe ₂ O ₃	0,17	0,39	0,32	1,45	0,4	0,8	0,6	1,4
R ₂ O (по выч.)	1,84	1,31	1,31	3,58	4,3	2,6	2,4	3,6
Органическая часть + H ₂ O конст. (по разности)	55,53	48,01	42,06	—	—	—	—	—
Кварц	3,94	3,15	2,49	4,25	8,9	6,0	4,3	4,3
Полевой шпат	4,72	4,33	4,76	9,47	10,6	8,3	8,2	9,5
Кварц + полевой шпат SiO ₂ общ.	0,79	0,81	0,84	0,68				
Полев. шпат Кварц CaCO ₃	1,20	1,37	1,91	2,23				
Минеральная часть	57,2	70,5	73,3	65,70				
Органическая часть	1,24	0,93	0,73	—				
Минеральная часть								
Полукокс	50,46	59,53	72,22	—				
Вода	2,83	2,95	3,08	—				
Смола	38,70	30,55	18,15	—				
Выход смолы на органическую массу	67,00	66,66	43,17	—				

Содержание CaCO₃ в неорганической части нормального сланца обычно составляет около 65%. Поэтому приведенное в табл. 3 содержание CaCO₃, равное 57,2%, является исключением.

Таблица 3

Показатели	Содержание, %			
	проба 1	проба 2	проба 3	проба 4
CaCO ₃	57,2	70,5	73,3	65,7
Кварц	8,9	6,0	4,3	4,3
Полевой шпат (ортотлаз)	10,6	8,3	8,2	9,5
Пирит	1,8	1,6	2,2	0,9
Другие силикаты и окислы (по разности)	21,5	13,6	12,0	19,6

Н. Л. Дилакторским под микроскопом в глине обнаружены следующие минералы: кристаллические и коллоидальные водные алюмосиликаты, представленные гидрослюдами и, возможно, соединениями ряда монтмориллонита, карбонаты (кальцит), кварц, пирит (марказит) в виде мельчайших кристалликов и более крупных образований, калишпаты,

гидрогематит, гипс (?), турмалин, циркон и эпидот. Изучение характера эффектов на кривой нагревания глины позволяет утверждать, что главным компонентом породы является гидрослюда в смеси с монтмориллонитом, а также кальцит (эффект при 760—810°) и пирит (экзотермия при 830—900°). Наличие этих минералов Н. Л. Дилакторским установлено также и в составе терригенного материала горючих сланцев.

Наконец, большой интерес представляют результаты определений фауны в глине из зон карстовых нарушений, выполненных Н. Т. Алиховой (см. Левыкин, 1952). Например, в глине ею были найдены *Sowerbyella liliifera* Ор., *Kullervo panderi* Ор., членики *Crinoidea* и др., типичные для кукурузского горизонта.

Таким образом, детальное изучение морфологии зон карстовых нарушений в горных выработках, а также результаты химических анализов, микроскопического и палеонтологического исследований образцов подтверждают выводы автора, что глины в слоях горючих сланцев являются остаточным материалом (элювием, а не делювием), образовавшимся в результате выщелачивания органической и частично карбонатной части горючих сланцев и выноса их подземной водой.

Источником же разрушения горючих сланцев и окисления их органической части, по-видимому, послужил кислород, привнесенный поверхностными и грунтовыми водами. Одним из продуктов окисления органических веществ горючих сланцев явилась растворенная в воде свободная углекислота (СО₂). Действие угольной кислоты на известняки и органическую часть горючих сланцев исследовано достаточно полно и поэтому мы на этом вопросе подробно не останавливаемся. Так, например, Ф. Ф. Лаптевым (1939) установлено, что «большинство природных вод содержит свободную углекислоту и углекислые соли в количествах, значительно больших, нежели это соответствует равновесию с атмосферой». Весьма ценным для наших условий является указание А. А. Крубера (1915) о том, что «особенно присутствие сланцев, содержащих углерод, способствует насыщению воды СО₂. Действительно, наиболее резкие следы коррозионной деятельности... наблюдается при контакте сланцев с известняками».

Следует полагать, что одних лишь соединений кислорода и углекислого газа в воде для окисления и разрушения керогена горючих сланцев и разрушения карбонатных пород недостаточно, так как глубинный карст в слоях горючих сланцев развит только по трещинам северо-восточного направления и не имеет места по трещинам северо-западного направления, хотя возраст последних обычно связывают с вариссийским циклом орогенеза. Поэтому следует считать, что на развитие глубинного карста оказывают преимущественное влияние сульфиды в трещинах-жилах северо-восточного простирания, а не кислород и углекислый газ воды.

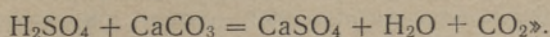
В более глубоких шахтах имеет место выделение сероводорода, присутствие которого легко распознается по запаху при вскрытии зон закарстованных нарушений в горных выработках. Например, содержание сероводорода в воде из прорывов на шахтах Гдовского месторождения настолько большое, что местами вода приобретает зеленовато-молочный цвет. Последнее, очевидно, связано с окислением сероводорода до элементарной серы.

После того как кислород был израсходован на окисление органических веществ, сероводород в восстановительной среде мог образовать с соединениями железа и свинца сульфиды Fe и Pb.

В результате последующего процесса продукты окисления сульфидов, видимо, дали начало образованию сернокислых соединений. Взаимодействие же их с горючими сланцами (в составе которых имеется до

2—3% серы) могло только увеличить концентрацию серной кислоты в подземных водах и усилить ее разрушающее влияние на горючие сланцы и на карбонатные породы. Химические анализы подстилающих и перекрывающих промпласт известняков также показывают заметное содержание в них сульфидов.

Указания на роль сернистых соединений в процессе карстообразования мы находим также в трудах А. А. Крубера (1915), Ф. Ф. Лаптева (1939). Так, например, А. А. Крубер отмечает, что «серный колчедан, содержащийся в сланцах, под влиянием воды и атмосферного кислорода окисляется в сернокислое железо и серную кислоту. Сернокислое железо, будучи сильным окислителем, сжигает углеродистые соединения сланцев с выделением углекислого газа. . .». Отметим, что такое предположение маловероятно, так как трехвалентное железо является слишком слабым окислителем для разрушения органического вещества. Ф. Ф. Лаптев также отмечает значение химических процессов, связанных с окислением «сернистых соединений до серной кислоты, и дальнейшее взаимодействие последней с карбонатами:



Таким образом, первичным исходным материалом для начала карстового процесса, по мнению автора, является водный раствор, подкисленный угольной и серной кислотами (за счет выщелачивания сульфидных минералов из песчаников трещин-жил), а также привнесенный поверхностной водой кислород. Под действием этого водного раствора началось разрушение и окисление органического вещества горючих сланцев, сопровождающееся постепенным изменением цвета горючих сланцев от шоколадно-красновато-бурого до черного, а также изменением химического состава сланцев.

Приведенные выше данные позволяют предполагать, что карстовому процессу в слоях горючих сланцев предшествовало окисление керогена. Поэтому карстовый процесс шел более интенсивно в слоях горючих сланцев и значительно слабее в подстилающих и перекрывающих толщах глинистых известняков с тонкими прослойками глинистых горючих сланцев.

Исследование Т. Е. Алумяэ физико-химических свойств ряда проб, отобранных автором из зон карстовых нарушений, подтверждает геологическое представление «о глубоко идущих окислительных процессах, вызванных растворением в подземных водах кислородом» даже при сравнительно низких температурах.

Природные процессы выщелачивания сульфидов с образованием подкисленных сернокислотных растворов и разрушения керогена горючих сланцев приводят к сложному комплексу физико-химических изменений в недрах территории Прибалтийского бассейна горючих сланцев, изучению которого в дальнейшем должно быть уделено серьезное внимание.

Здесь карстовый процесс представляется следующим образом. После образования морских отложений ордовика и силура происходило поднятие материка (связанное с фазой каледонского орогенеза), которое сопровождалось образованием вертикальных трещин северо-восточного простирания. До среднего девона характерно высокое стояние континента, чем и обусловлено отсутствие нижнедевонских отложений.

С опусканием материка и наступлением среднедевонских лагунных и континентальных условий происходит заполнение трещин северо-восточного простирания отсортированным кварцевым песком (если принять во внимание, что эти пески относятся к пярнускому горизонту среднего де-

вона); последующая цементация этих песков в трещинах карбонатами и сульфидами и образование так называемых трещин-жил. Последовавшие за этим неоднократные колебательные движения и вертикальные подвижки местами способствовали повторному вертикальному разрыву сплошного залегания пород (особенно вдоль трещин-жил) с образованием извилистых прожилок внутри трещин-жил и по контакту их с толщей карбонатных пород, микросбросов с ясно выраженным зеркалом скольжения и широких зон тектонического дробления.

Трещиноватость коренных пород благоприятствовала инфильтрации поверхностных вод со сравнительно высоким содержанием кислорода. Слабоводопроницаемые (выветрелые горючие сланцы, раздробленные глинистые известняки) или практически водонепроницаемые (глинистые промпластки, плотные известняки) слои пород содействовали изменению вертикальной циркуляции подземных вод на горизонтальную до следующих вертикальных разрывов в сплошном залегании пород. При этом плотно сцементированные трещины-жилы, по-видимому, являлись преграждающим вертикальным экраном. Следует полагать, что на контакте трещин-жил с окружающими породами началось выщелачивание цементирующих веществ из песчаников (до состояния рыхлых песков), насыщение подземной воды угольной и серной кислотами и разрушение горючих сланцев и карбонатных пород.

Таким образом, происходило подземное природное окисление и разрушение органической части горючих сланцев, и совместно с карбонатной частью в виде раствора она была вынесена подземной водой за пределы зоны закарстованного нарушения. А на месте зоны карстового окисления постепенно отлагалась оставшаяся рыхлая нерастворимая глинистая масса (элювий). Последняя, оседая на подстилающий прослой или толщу известняков, постепенно уплотнялась и местами закупоривала пути для циркуляции подземных вод вниз по трещинам, создавая благоприятные условия для развития процесса окисления и карстового процесса в горизонтальном направлении. В последнем случае большую роль, видимо, играли структурная и текстурная особенности сланцев и химический процесс, протекавший в контактовой части между слоями горючих сланцев.

Наличие влажной и неплотной глины с кривой слоистостью на контакте с зоной карстового окисления и циркуляция подземных вод наталкивают на мысль, что одновременно с процессом растворения и выноса органической и карбонатной части водой происходило незначительное смешение минеральной части книзу и местами частичный ее вынос.

В результате выщелачивания и выноса органической и карбонатной частей из сланцев происходило уменьшение мощности слоев в пределах зоны карстового элювия (рис. 7г, 8), а в результате горного и гидростатического давления и физико-химических процессов, протекавших в толще карбонатных пород, — подъем почвы и опускание кровли пласта. Уменьшение мощности сланцевых слоев при этом может быть ориентировочно вычислено следующим образом: из сланцевых слоев от А до Н мощностью 2,84 м (без содержания известковых включений) выщелочена полностью органическая часть, составляющая около 37%, и частично карбонатная часть. Из 40% карбоната кальция в первоначальном сланце в глине его осталось около 17%. Таким образом, мощность слоев горючих сланцев уменьшилась на 1,7 м за счет выщелачивания подземной водой, и на долю мощности остаточной глины пришлось около 1,1 м, что приблизительно и соответствует данным фактических замеров мощности зоны карстового элювия в горных выработках шахт.

Из вышеизложенного видно, что зоны остаточной глины в слоях горю-

чих сланцев, выделенные под названием зон карстового элювия, в описываемом районе являются результатом карстового процесса. Весьма выдержанное региональное простирание зон карстового элювия, выявление среди этих глин неправильной формы прожилок кварцевых песков и на продолжении их — трещин, выполненных кварцевым песком и песчаником с сульфидами и кальцитом, и многие другие особенности дают основание утверждать, что эти зоны приурочены именно к выделенному выше первому типу трещин северо-восточного простирания.

По мнению же М. А. Гатальского, наоборот, трещины северо-восточного простирания, выполненные песком и цементированные сульфидами, «образовали водонепроницаемые жилы, предотвратив, таким образом, дальнейшее развитие карстовых процессов на заполненных участках трещин». Далее указывается, что «те же участки трещин, которые не были выполнены песками, подвергались сильной разработке водой и только после этого, в результате трансгрессии среднедевонского моря, они были выполнены глинистым и обломочным материалом, заполнившим также и крупные карстовые полости в известняках».

Слоистость осадочной толщи коренных пород (особенно переслаиваемость их со слоями горючих сланцев, глинистых горючих сланцев и глин), различие в интенсивности карстового процесса в слоях горючих сланцев и в толще карбонатных пород и горизонтальная или линзовидная текстура горючих сланцев определили направление развития карстового процесса, образование своеобразной морфологии карста и соответствующей ее гидрографии, создавая, таким образом, сложную форму карста.

Помимо слоистости, на увеличение интенсивности процесса карстообразования оказывал влияние, по-видимому, угол падения слоев, вызванного в основном самой карстовой тектоникой. Так, пологое падение слоев пород в зонах карстового дробления — до $10-20^\circ$ (рис. 8) создало условия для циркуляции подземных вод по контакту сланцевых слоев и известняков, что привело к более интенсивному выщелачиванию и разрушению пород в горизонтальном направлении. Аналогичные явления отмечаются также рядом исследователей и для других районов Советского Союза.

На развитие карстовых явлений Эстонского месторождения большое влияние, по-видимому, оказывала также влажность климата (величина осадков около 600 мм в год) и почти плоская форма рельефа дневной поверхности.

Следует предположить, что как химическое выщелачивание пород, так и механическое разрушение и вынос материалов растворения действовали в тесной взаимосвязи. Воздействие этих процессов на горючий сланец не может быть разграничено во времени и пространстве настолько, чтобы оно позволило сравнительно близко установить степень и соотношение величин этих воздействий, но на основании вышесказанного можно высказать предположение, что оба эти процесса шли почти одновременно.

Приведенные выше выводы о морфологии и природе глубинного карста на Эстонском месторождении горючих сланцев применимы также для месторождений горючих сланцев Ленинградской области (и для всего Прибалтийского сланцевого бассейна), поскольку отложения слоев горючих сланцев, подстилающие и перекрывающие их породы генетически и по составу идентичны. Следует различать лишь положение карстующего массива по отношению к его древнему и современному базисам эрозии.

ЛИТЕРАТУРА

- Алумяэ Т. Е. Окисление керогена сланца молекулярным кислородом. Диссертация. Институт химии АН ЭССР, Таллин, 1954.
- Асаткин Б. П. Объяснительная записка к листам 0—34 вост. пол., 0—35 (Рига—Таллин). Госгеолиздат, 1944.
- Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. Госгеолиздат, 1940.
- Крубер А. А. Карстовая область горного Крыма, 1915.
- Лаптев Ф. Ф. Агрессивное действие воды на карбонатные породы, гипсы и бетон. ГОНТИ, 1939.
- Левыкин В. В. Горючие сланцы Прибалтики. Ленгостоптехиздат, 1947.
- Левыкин В. В. Лжекарстовые явления на месторождениях горючих сланцев Прибалтики и их практическое значение. Техническая информация Л. О. ВНИТОГОР, 1952.
- Луха А. Х. Полезные ископаемые Эстонской ССР, Таллин, 1948.
- Новикова А. С. О трещиноватости осадочных пород восточной части Русской платформы. Изв. АН СССР, серия геол., № 5, 1951.
- Овчинников А. М. Общая гидрогеология. Госгеолиздат, 1949.
- Толстихин Н. И. Гидрохимическая зональность артезианских бассейнов. Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Горного института. Том XXXII, вып. 2, 1956.
- Orviku K. Uhaku karstiaala looduskaitse alana. Tartu Ülikooli Geoloogia Instituudi Toimetused, nr. 59, 1940.

SÜGAVKARSTI MORFOLOOGIAST JA TEKKEST BALTI PÕLEVKIVIBASSEINIS

M. GAZIZOV

Resümees

Artiklis käsitletakse lõhesuse ja karstinähtuste küsimusi kesk-ordo-viitsiumi vanusega kivimites, mis esinevad Eesti NSV ja Leningradi oblasti põlevkivi leiukohtade piirkonnas (joon. 1, 2, 3.).

Leiukohtade eksploatatsiooni mäetehnilistele tingimustele ja karstinähtuste arengule avaldavad olulist mõju devonielse vanusega kirde-suunalised vertikaalsed tektoonilised lõhed. Need lõhed jagab autor neid täitva materjali ja morfoloogiliste tunnuste järgi neljaks tüübiks. Peale selle tõstetakse esile ja kirjeldatakse lõhesid, mis tekivad karstinähtuste protsessis ja on nimetatud «karsti tektoonika» lõhedeks.

Karsti kirjeldamisel pööratakse peamine tähelepanu nn. sügavkarstile, mis esineb sageli piki kirdesuunalisi lõhesid 100 ja enam meetri sügavuseni, mis vastab abs. kõrgusele kuni —45 m. Sügavkarsti aktiivsus on otseselt seotud kohaliku erosioonibaasiga. Eesti NSV territooriumil toimub põlevkivi kaevandamine abs. kõrgustel +60 kuni +20 m ja siin võib näha selle karsti kaasaegseid nähtusi. Leningradi oblasti territooriumil kaevandatakse põlevkivi allpool nulli asuvatel abs. kõrgustel ja siin ei ole sügavkarsti kaasaegseid nähtusi.

Horisontaalses lõikes eraldatakse põlevkivi tootsate kihtide tasemel sügavkarsti morfoloogias viis tsooni: seesmine — karstilise eluuviumi tsoon (jääksaviga täitumise tsoon), millest väljapoole järgnevad järjestikku karstilise oksüdeerumise, karstilise maagistumise, karstilise purustuse ja lõpuks kõige välisem — karstilise lõhestatuse tsoon. Kõik need tsoonid tervikuna moodustavad karstistunud rikketsooni.

Igal esiletõstetud tsoonil on iseloomulikud tunnused, millede järgi nad said oma nimetuse. Nende paksus muutub suurtes piirides.

Nii muutub karstilise eluuviumi tsooni paksus nullist kuni mitmekümne meetrini, oksüdeerumise tsooni — nullist kuni mõne sentimeetrini, maagistumise tsooni — nullist kuni meetrini, purustuse tsooni — 10—20 m

ja lõpuks karsti lõhestatuse tsooni — kümnetest kuni sadade meetriteni. Üldiselt horisontaalses lõikes põlevkivi tootsate kihtide tasemel karstistunud rikketsoon on läätse kujuline, mis oma pikiteljega asub kirde suunas. Karstistunud rikketsoon lähleb oma leviku suunas üle «lõhesooneks», mis on täidetud liivataolise materjaliga ja mis on tsementeerunud kaltsiidi ja sulfiidsete mineraalidega. Autor peab karstilise purustuse tsooni välimist piiri allmaa mäetööde ohtliku tsooni piiriks (joon. 5, 7, 8).

Karstistunud rikketsoon vertikaalses lõikes, mis asub risti rikketsooni levikule, on keerulisema kujuga, mis on tingitud karstistumise suuremast astmest põlevkivikihtide piires, võrreldes lubjakividega. Kuid siiski ka siin säilib karstistunud rikketsooni tsonaalne ehitus. Põlevkivi tootsatest kihtidest ülalpool ja allpool ei ole karstistunud rikketsooni veel küllaldaselt uuritud. Sügavkarsti tunnuseid pole maapinna reljefis tavaliselt näha (joon. 6).

Artiklis antakse sügavkarsti tekkimise kohta seni avaldatud seisukohatäde kriitika. M. A. Gatal'ski (1948) järgi kujutab endast materjal, mis täidab karstiõõnsusi, karsti eluuviumi, olles osalt devonse päritoluga, osalt aga kujunenud ordoviitsiumi lubjakivide porsumisest. V. V. Levõkini (1952) järgi on savitaoline materjal, mis täidab karstiõõnsusi, kas ühevanune neid sisaldava põlevkiviga ja on kujunenud fatsiaalsete tingimuste muutumise tulemusena põlevkivi settimise ajal või kujunes põlevkivist mingisuguste seni kindlakstegemata sekundaarsete protsesside, kuid mitte karstiprotsesside tulemusena.

Autor näitab, et savi, mis täidab sügavkarsti tsoonid, on eluviaalne, ta kujunes põlevkivist orgaanilise aine väljakandmise ja kaltsiumkarbonaadi väljalahustamise teel, lõhesid mööda tsirkuleerivate vete toimel. Vee hävitav mõju põlevkivile on seotud temas hapniku, süsihappe ja väävelhappe olemasoluga. Viimane on kujunenud kirde-suunalise levikuga lõheded hulgaliselt leiduvate sulfiidide lagunemisel.

Oleliiduline Teaduslik Sõuurimise Instituut

ON THE MORPHOLOGY AND ORIGIN OF KARST PHENOMENA IN THE DEEP STRATA OF THE BALTIC OIL SHALE BASIN

M. GAZIZOV

Summary

The author of the present article deals with the problems of the cracking process and with karst phenomena (solution openings) in the rocks forming the Middle-Ordovician oil shale deposits in the Estonian S.S.R. and in Leningrad District (Fig. 1, 2, 3).

The vertical tectonical joints stretching in a north-easterly direction in strata of the Pre-Devonian period exert considerable influence on the mining and exploiting conditions of oil-shale. These joints, according to the substance filling them and their morphological properties are classified by the author into four types. The author also discusses the joints that develop in the process of karst phenomena, and which he calls «cracks of karst tectonics».

Particular attention is paid to the so-called karst of great depths or deep-strata karst, widely developed at a depth of 100 and more metres, which corresponds to absolute marks of up to -45. The activity of this karst is directly connected with the local erosional base. On the territory of the Estonian S.S.R. the mining of oil shale is carried out at absolute marks of +60 to +20, and here contemporary developments of the karst mentioned above are to be observed. On the territory of Leningrad

District oil shale is mined at a depth of absolute marks below zero, and here no contemporary deep-strata karst developments are observed.

A horizontal cross-section of the industrial layers of oil shale reveals five zones in the morphology of karst at great depths: the innermost is a zone of karst eluvium (the zone of sedimentary clay); this is followed successively by zones of karst oxidation, karst mineralization, karst crushing, and, finally, an external zone — that of karst cracking. All these zones put together form the zone of karst desintegration.

Each of these zones has its own characteristic features, after which it has been named. Their thickness varies greatly. Thus, the thickness of the zone of karst eluvium varies from 0 to some tens of metres, the zone of oxidation — from 0 to some centimetres, the zone of mineralization — from 0 to one metre, the zone of crushing — from ten to twenty metres, and finally, the zone of karst cracking — from some tens to one hundred metres. Generally speaking, in horizontal section on the level of industrial layers of oil shale, the zone of karst desintegration is shaped like a lens stretching out in a north-easterly direction. Along this direction the zone of karst desintegration evolves into cracks filled with sandy substance, cemented with calcium carbonate and sulfide minerals, and the author names these cracks «crack-veins». Along the external border of the zone of karst crushing the author draws the danger line of subterranean exploitation of oil shale (Fig. 5, 7, 8).

In vertical section across the strata the zone of karst desintegration has a more complicated form, which is due to the oil shale layers being more influenced by the karst processes than the limestone layers. The zonal structure of the karst desintegration zone, however, may be observed here as well. Above and below the industrial layers of oil shale, the zone of karst desintegration has not as yet been sufficiently investigated. The relief of the surface of the earth generally shows no signs of the karst of greater depths (Fig. 6).

In the present article the author gives a criticism of the hereto existing conceptions of the origin of deep-strata karst. According to M. A. Gatalsky (1948), the substance filling the karst cavities is a karst talus, partly of a Devonian origin, partly formed as the result of the desintegration of ordovician limestones. According to V. V. Levykin (1952), the clayey substance filling the karst cavities is either of the same age as the oil shale surrounding it and originating in the process of changes in the facial conditions, or it has evolved from the shale as the result of some unknown secondary processes, not of karst character, which have not yet been investigated.

The author shows that the clayey substance filling the karst cavities in the deep strata is of an eluvian origin. It has evolved in the shale owing to remove of organic substance having been washed out of it and the solution of calcium carbonate effected by the ground-water circulating along the joints. The desintegrating effect of the ground-water on the oil shale is connected with the existence of oxygen in the former, of detached carbon dioxide, and of sulfuric acid, formed during the decomposition of sulfides found in large quantities along the north-eastern stretches of layers.

Institute of the Scientific Research of Coal of the U. S. S. R.

