

Er.5.12

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA GEOLOOGIA INSTITUUDI UURIMUSED  
ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

X

# ГЕОЛОГИЯ ПАЛЕОЗОЯ

ТАЛЛИН 1962 TALLINN

## НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ПЕСЧАНИКОВ СРЕДНЕГО ДЕВОНА ЭСТОНИИ

Х. А. ВИДИНГ

В последние годы по инициативе кафедры геологии Тартуского университета приступлено к систематическим исследованиям минералогического состава песчаных пород девона. На основе проведенных работ можно сделать некоторые предварительные выводы о минералогическом характере песчаников и алевролитов среднего девона.

Песчано-алевритовые породы среднего девона Эстонии представлены олигомиктовыми кварцевыми или полевошпатово-кварцевыми, реже слюдистыми песками. В наровском горизонте встречаются также кварцево-полевошпатовые и полимиктовые кварцево-слудисто-полевошпатовые пески.

Нижеследующая характеристика минералогического состава горизонтов среднего девона Эстонии базируется на 220 анализах проб, собранных из обнажений, а также из кернов буровых скважин.

При исследовании минералогического состава отложений главное внимание уделялось фракции 0,1—0,06 мм, в которой исследовались как легкие, так и тяжелые (уд. вес  $> 2,89$ ) минералы. Нужно отметить, что минералогический состав указанной гранулометрической фракции существенно не отличается от среднего минералогического состава породы, в частности в отношении тяжелых минералов. Песчаники среднего девона в Эстонии представлены в подавляющем большинстве мелкозернистыми разновидностями, ввиду чего наиболее обогащена тяжелыми минералами фракция крупного алеврита. Кроме того, в указанном интервале наблюдается относительно богатая видами ассоциация тяжелых минералов. Изменения же в количественных соотношениях минералов в разновозрастных комплексах отложений выявляются в этой фракции резче, чем в более мелкой и крупной фракциях.

Как уже установлено многими исследователями, минералы в разных гранулометрических интервалах отличаются количественными соотношениями. Тенденция минералов к селективной концентрации в определенных гранулометрических интервалах объясняется многими факторами, такими как удельный вес, форма, господствующая величина минерала в исходной породе, химическая и механическая устойчивость и т. д. Основываясь на результатах наших минералогических анализов, можно говорить о закономерном увеличении содержания кварца в сторону более крупных фракций, тогда как содержание полевых шпатов, а часто и слюд повышается в более мелких фракциях. Относительное суммарное весовое количество тяжелых минералов увеличивается

в мелких фракциях, но поведение отдельных тяжелых минералов при этом бывает разным. В то время как количество зерен циркона, монацита, ксенотима и анатаза резко повышается в сторону мелких фракций, содержание зерен ставролита, дистена, турмалина, апатита, роговой обманки и пироксенов в том же направлении закономерно уменьшается (Viiding, 1961).

В распределении рутила наблюдаются два максимума концентрации. Максимальное относительное содержание граната и рудных минералов установлено во фракциях 0,25—0,10 мм и 0,1—0,06 мм.

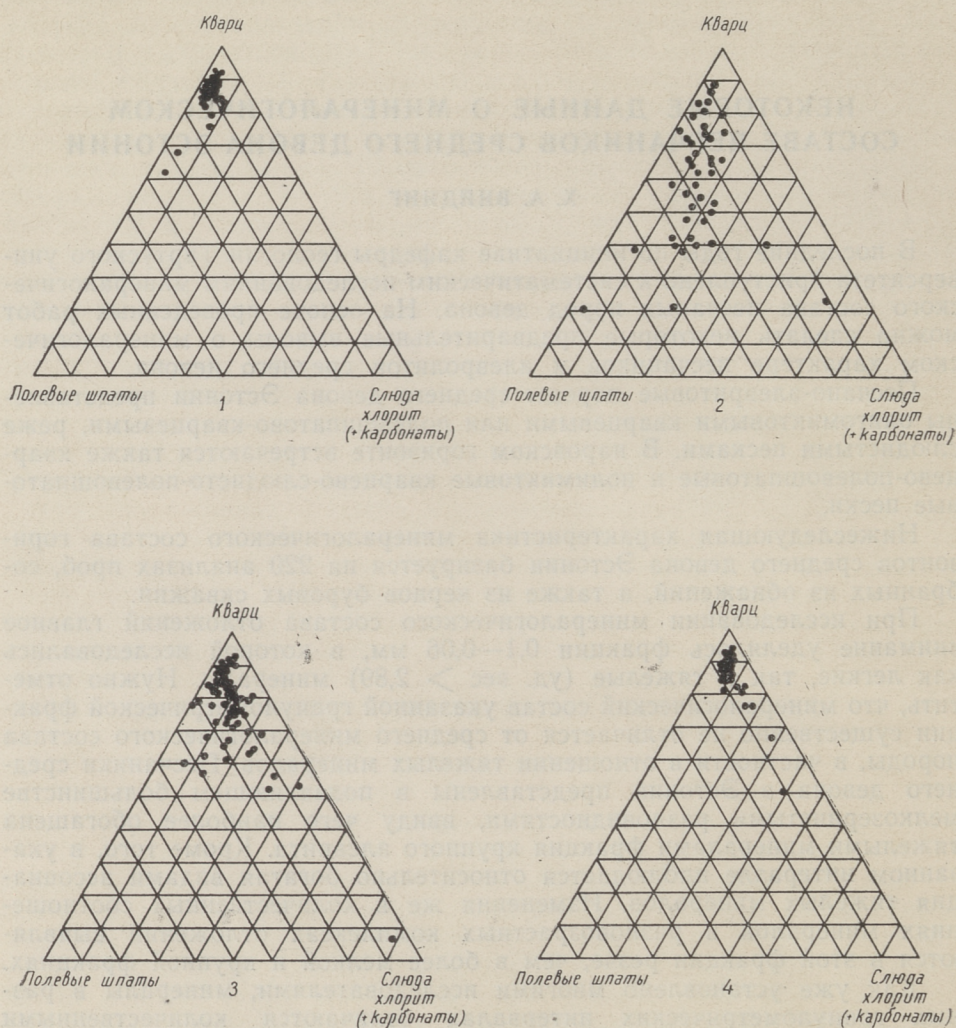


Рис. 1. Минералогический состав легкой фракции (0,10—0,06 мм)

1 — пярнуский горизонт; 2 — наровский горизонт; 3 — арукюлаский горизонт; 4 — бурт-  
ниекский горизонт.

Минералогический состав определенной фракции породы отражает в некоторой степени и ее механический состав и вместе с последним функционально связан с условиями транспортировки и осадконакопления. Из этого логически вытекает вывод, что минералогическая корре-

ляция, опирающаяся на предположение об относительном постоянстве характера области сноса и условий осадконакопления в течение определенного промежутка времени, может дать наилучшие результаты при учете и сравнении однородных по механическому составу рыхлых пород. При этом желательно брать всегда только одни и те же гранулометрические интервалы.

Для сопоставления данных анализа разных гранулометрических фракций можно эмпирически найти для каждого комплекса пород или горизонта коэффициенты корреляции минералов. Результаты корреляции тем лучше, чем уже анализируемые гранулометрические диапазоны. Практически соблюдать требование об однообразии механического состава используемых для анализа образцов почти невозможно, приходится анализировать отличающиеся по зернистости отложения. Поэтому при интерпретации данных минералогических анализов для целей корреляции и стратиграфии обязателен учет гранулометрического состава.

Как видно на диаграммах минералогического состава (рис. 1), пярнуский и буртниекий горизонты характеризуются относительным постоянством содержания главных минералов. Минералогический состав песчано-алевритовых отложений арукюлаского и особенно наровского горизонтов колеблется в больших пределах, что указывает на частую изменчивость условий осадконакопления в то время.

Вверх по разрезу отложений среднего девона (рис. 2) можно заметить повышение содержания кварца и сокращение количества полевых шпатов, а также слюд. Исключением являются в этом отношении песчаники пярнуского горизонта, которые по содержанию кварца близки к песчаникам буртниекого горизонта. Такое изменение соотношений главных минералов хорошо увязывается с гранулометрическим составом песков этих отложений (рис. 3). На трехмерной диаграмме — среднезернистые пески — мелкозернистые пески — алевриты (+ глина) — для отложений каждого горизонта среднего девона характерно свое поле. По среднему механическому составу наиболее крупнозернистыми песчаниками представлен буртниекий горизонт, затем следуют мелкозернистые песчаники арукюлаского и алевриты наровского горизонтов. Песчаники пярнуского горизонта по зернистости распределены на центральном промежуточном поле диаграммы. Содержание полевых шпатов, как показывают анализы, повышается по мере уменьшения зернистости осадка.

Таким образом, гранулометрический состав, отражающий условия транспортировки и отложения песков, является, наряду с минералогическим составом, одним из дополнительных критериев для расчленения отложений среднего девона. Но минералогический состав песков среднего девона зависит далеко не в полной мере от механического состава осадков. Это хорошо иллюстрируется на примерах анализов проб из кернов буровых скважин, в которых минералогический состав песков при переходе от подстилающего горизонта в вышележающий может иногда резко изменяться без заметного колебания в гранулометрическом составе. Кроме того, изменения в соотношениях тяжелых минералов в разных горизонтах не могут быть объяснены только изменением механического состава осадков. Поэтому состав тяжелых минералов имеет особое значение для целей корреляции и палеографических реконструкций.

Как показывают результаты проведенных анализов, суммарное содержание тяжелых минералов во фракции 0,1—0,06 мм зависит от зернистости осадка или породы. Количество тяжелой фракции оказы-

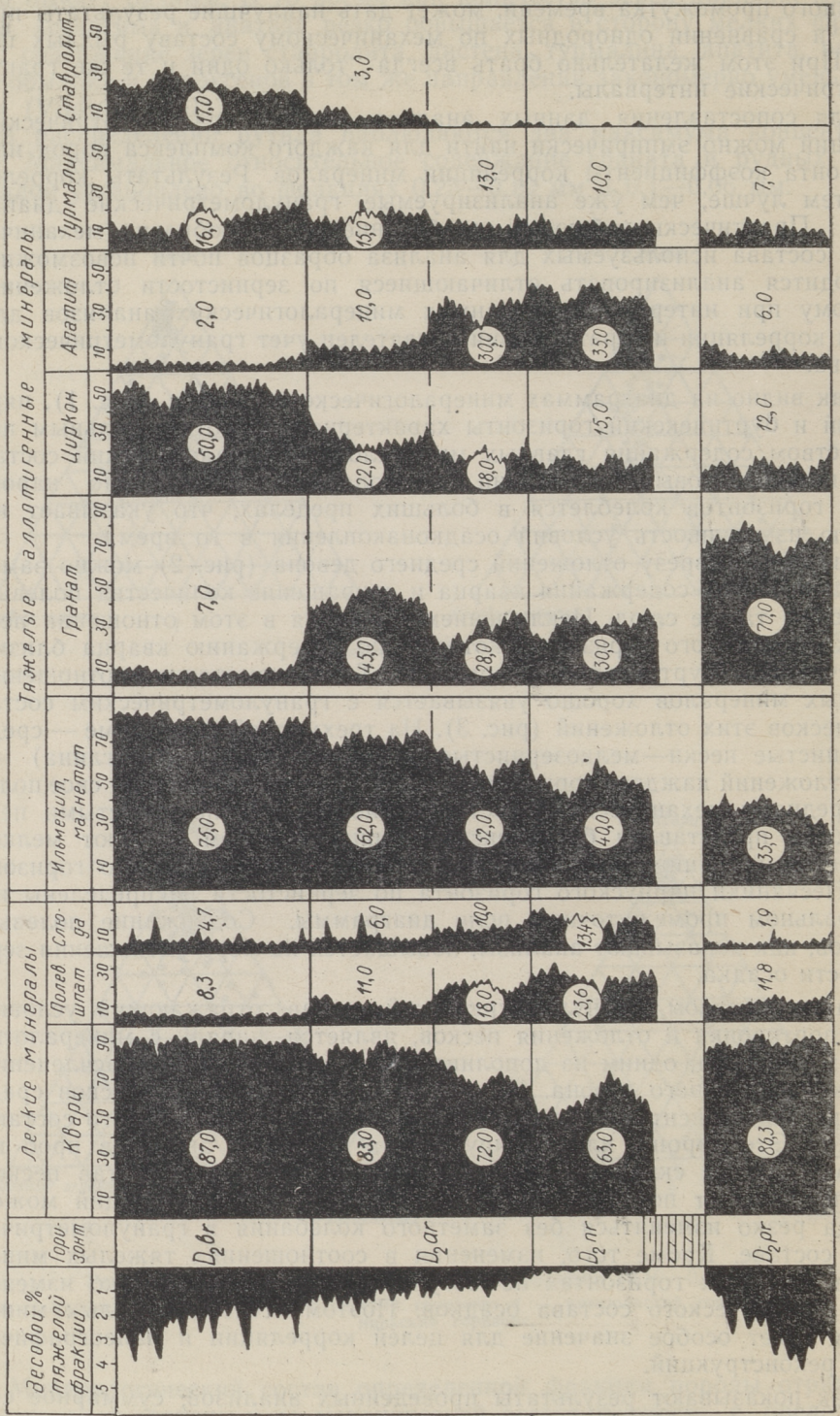


Рис. 2. Соотношения минералов в вертикальном разрезе среднего девона.

вается высоким в тех пробах, в которых существенную роль играет фракция 0,25—0,10 мм. Эта закономерность объясняется тем, что тяжелые минералы по динамическим условиям транспортировки и отложения принадлежат к следующей, более крупной фракции, но после просеивания пробы на ситах концентрируются в более мелкой фракции. Этой зависимостью объясняется низкое содержание тяжелых минералов в алевролитах наровского горизонта. Начиная с наровского горизонта роль тяжелых минералов в исследуемой фракции постепенно возрастает, достигая в буртниеком горизонте в среднем 2—4% (рис. 2).

Среди минералов тяжелой фракции в изученных отложениях существенное значение имеют следующие аллотигенные минералы: ильменит, магнетит, гранат, циркон, апатит, турмалин, ставролит, дистен, рутил. Эпизодически встречаются слюды, эпидот, андалузит, корунд, топаз, роговая обманка, пироксены и др.

В виде аутигенных минералов чаще всего встречаются гидроокислы железа (лимонит), лейкоксен, минералы группы хлорита, карбонаты (кальцит, доломит, реже зерна сидерита), даллит, иногда и пирит, барит и др. Вполне возможно присутствие и аутигенных полевых шпатов. Аутигенные минералы представляют собой прекрасные индикаторы физико-химических условий среды осадконакопления или процессов диа- и эпигенеза. Но так как содержание аутигенных минералов, в частности карбонатов и гидроокислов железа, в пределах разреза иногда сильно колеблется, то в суммарном учете это вызывает и колебания в количестве аллотигенных минералов. Поэтому аутигенные минералы вместе со слюдами (накопление которых зависит от локальных динамических условий среды осадконакопления) учитывались нами отдельно. На рис. 2 приведены содержания ильменита—магнетита, граната, циркона, апатита, турмалина и ставролита, как наиболее существенных аллотигенных минералов тяжелой фракции, в вертикальном разрезе среднего девона в виде «каротажных» кривых. Качественное и количественное содержание указанных минералов определяет и господствующие ассоциации тяжелых минералов, присущие определенным горизонтам. Эти же минералы имеют в отложениях среднего девона наибольшую корреляционную ценность.

На диаграмме рис. 2, иллюстрирующей колебание содержаний разных минералов в вертикальном разрезе, приведены обобщенные результаты анализа проб из разных регионов распространения песчаников среднего девона в Эстонии. Пробы были взяты как в районе выхода, так и в некоторых ядрах буровых скважин. Эти обобщенные данные могут не вполне точно совпадать с данными, полученными при минералогической разработке определенного конкретного разреза. Колебания в содержаниях корреляционных минералов в горизонтальном направлении в пределах нашей республики обычно незначительные. Иногда наблюдается поразительное постоянство минералогической ассоциации по всей полосе выхода (например, в нижней части арукюла-ского горизонта). Но тем не менее установление региональных особенностей минералогических ассоциаций и соотношений минералов имеют важное значение. На основе обработанных материалов можно говорить о региональном обогащении песчаников буртниекого горизонта в восточной части выхода ставролитом. В западной части выхода место ставролита занимает турмалин.

Во всех горизонтах среднего девона встречаются в значительном количестве (35—75%) рудные минералы — ильменит и магнетит. Со-

держание их закономерно возрастает начиная с пярнуских песчаников до верхов среднего девона.

С точки зрения корреляции особый интерес представляют соотношения прозрачных аллотигенных тяжелых минералов.

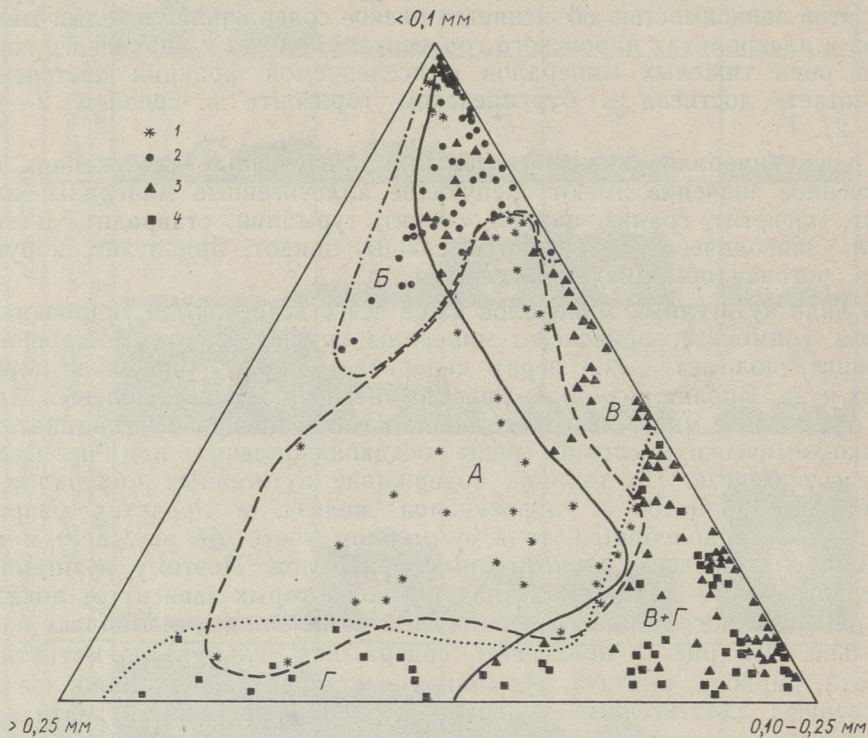


Рис. 3. Гранулометрический состав песчано-алевритовых пород среднего девона.

1 — образцы пярнуского горизонта; 2 — образцы наровского горизонта; 3 — образцы арукюлаского горизонта; 4 — образцы буртниекого горизонта.  
Поля образцов: А — пярнуского горизонта, Б — наровского горизонта, В — арукюлаского горизонта, Г — буртниекого горизонта.

Для получения четкого изображения на диаграмме (рис. 2) принимаем их суммарное содержание за 100%. Для каждого горизонта среднего девона в Эстонии характерны свои типичные прозрачные минералы или их ассоциации. Например, для пярнуского горизонта характерно заметное преобладание граната над другими минералами. В полосе выхода этого горизонта гранат составляет 80—95% прозрачных минералов; в южном направлении, по данным буровых скважин, количество его снижается до 60—50%. В меньшем количестве встречаются циркон, турмалин и апатит.

Наровские мелкозернистые песчаники и алевролиты характеризуются ассоциацией апатита—граната или апатита—турмалина, к которым присоединяется в меньшем количестве циркон.

Арукюлаский горизонт по минералогическому составу слагающих его пород может быть разделен на две части. В нижней части присутствует сообщество тяжелых минералов, характерное для наровского горизонта, хотя в их количественных соотношениях и намечается определенный сдвиг. Вопрос о разграничении по разрезу наровского горизонта от арукюлаского по минералогическим данным требует еще

уточнения, так как здесь в минералогических ассоциациях нередко отсутствуют резкие изменения, которые позволили бы решить вопрос о границе однозначно. Поэтому нужно особенно тщательно учитывать литологические признаки, а также колебания гранулометрического состава, маскирующие и осложняющие количественные соотношения минералов.

По литологическому характеру наровский горизонт не отличается существенно от нижней части арукюлаского горизонта и переходит в него постепенно.

В верхней части арукюлаского горизонта преобладает ассоциация граната—циркона, к которой в меньших количествах присоединяются апатит и турмалин.

В буртниеком горизонте первое место среди прозрачных минералов занимает циркон, который в западной части выхода ассоциируется с турмалином, а в восточной части — со ставролитом. Наряду с названными минералами следует отметить еще гранат, дистен и андалузит, всегда присутствующие в незначительных количествах. Иногда в заметном количестве (до 15%) наблюдаются и минералы группы  $TiO_2$  (рутил, брукит, анатаз), в то время как в нижележащих горизонтах количество их меньше (обычно не более 5%).

В виде второстепенных или эпизодических минералов тяжелой фракции в песчаниках среднего девона встречены еще эпидот, титанит, корунд, топаз, роговые обманки, пироксены, реже флюорит, силлиманит и др.

Переход одного горизонта в другой не всегда сопровождается резким скачком в минералогических ассоциациях. Иногда при незначительном интервале взятых проб наблюдаются постепенные переходы одной ассоциации в другую, причем не всегда ясно, между какими пробами находится граница. Поэтому для целей расчленения отложения нельзя не учитывать литологические признаки — изменения характера отложений, следы размыва, присутствие базального конгломерата и т. д.

Постепенность в изменении минералогического состава на границах двух горизонтов обусловлена более древними осадками, после перерыва снова вовлеченными в процесс механической седиментации. В низах песчаниковых горизонтов существенное значение имеют повторно переработанные и переотложенные осадки. Об этом говорят более высокая степень окатанности песчинок, заметно большее содержание кварца и устойчивых тяжелых минералов (циркон, гранат, рудные минералы, ставролит) и уменьшение количества полевых шпатов, а из тяжелых минералов — апатита, обладающего относительно меньшей механической устойчивостью.

В ходе трансгрессии все возрастающее значение приобретала та часть осадочного материала, которая приносилась из поднимавшейся области сноса (Фенноскандии), где в ходе денудации обнажались все новые породы кристаллического фундамента. Эти изменения с известным опозданием отражаются и в минералогических ассоциациях разновозрастных горизонтов среднего девона. Во время транспортировки и повторных переотложений сохранились лишь устойчивые минералы, так как малоустойчивые породообразующие минералы (пироксены, амфиболы), имеющие большую корреляционную ценность, в подавляющем большинстве истирались или же замещались хлоритом. В этом отношении девонские породы имеют резко отличную ассоциацию тяжелых минералов по сравнению с четвертичными отложениями, в частности с моренами, в которых всегда присутствуют в значительном коли-



честве (до 20—40%) малоустойчивые минералы — амфиболы, пироксены, минералы группы эпидота и др. (Раукас, 1961; Raukas, 1961).

Нами установлено, что минералогический состав пород колеблется в пределах одного горизонта. Такие изменения говорят о колебаниях темпа денудации, о климатических изменениях и о цикличности условий транспорта и осадконакопления. Обработанный нами материал еще недостаточен для того, чтобы можно было с уверенностью выделить по минералогическим данным циклы и комплексы осадков, характеризующие всю полосу выхода девонских пород на территории нашей республики. Можно лишь говорить о региональных циклах, характер изменений минералогического состава в которых совпадает в нескольких сопредельных разрезах или буровых скважинах.

Так как отклонения в содержании минералов в сопоставляемых разрезах могут быть вызваны различиями в зернистости осадков, желательно при минералогической корреляции разнозернистых отложений ввести поправочные коэффициенты. Но иногда расхождения между кривыми наблюдаются и в случае близкого механического состава сравниваемых разрезов. Обусловлено это различным генезисом, разной степенью переотложения осадков или локальными условиями седиментации. Например, суммарное количество тяжелых минералов, а возможно, и отчасти минералогический состав в разных точках косослоистой серии различны. Такие местные колебания минералогического состава, если их не учитывать при взятии образцов для анализа, могут маскировать общий характер минералогических ассоциаций и затруднять расшифровку соответствующих изменений. Доказательством этого могут служить зигзагообразные, сильно изгибающиеся «каротажные» кривые минералогического состава, полученные на основе анализа проб, взятых из кернов или обнажений точечным методом. В противоположность этому, близкие пробы из шлама или средние пробы (бороздовые пробы) из обнажений имеют довольно сходный минералогический состав. Таким образом, для целей корреляции и расчленения отложений необходимо брать средние образцы, характеризующие не детали определенных комплексов или серий, а сами комплексы или серии в целом. Кроме того, существенное значение имеет лабораторная методика обработки и исследований образцов, которые должны подвергаться повторной проверке для получения достоверных результатов. Немаловажное значение, как показывает наш опыт, имеет при этом получение средних проб для анализа минералов как легкой, так и тяжелой фракции.

*Кафедра геологии  
Тартуского государственного университета*

#### ЛИТЕРАТУРА

- Раукас А. 1961. Минералогия морен Эстонии. Изв. АН ЭССР, т. X, серия физ.-мат. и техн. наук, № 3.
- Raukas, A. 1961. Mineraloogilise meetodi kasutamise võimalusest moreenide uurimisel Eestis. Eesti NSV TA Geoloogia Instituudi Uurimused, VII.
- Viiding, H. 1961. Võrdlevaid andmeid erivärviliste devoni liivakivide mineraloogiast ja litoloogiast. Geoloogilised märkmed 2. Eesti NSV TA Loodusuurijate Selts.

# MÖNINGAID ANDMEID KESKDEVONI LIIVAKIVIDE MINERALOOGILISEST KOOSTISEST EESTIS

H. VIIDING

## Resüme

Keskdevoni liivakate setete mineraloogilise koostise uurimisel on tuginetud peamiselt granulomeetrilisele fraktsioonile 0,1—0,06 mm. Viimases on määratud nii kerge kui ka raske fraktsiooni ( $e > 2,89$ ) mineraalid. Selles suurusvahemikus on peeneteraliste liivakivide mineraalide vahekord kõige lähedasem sette keskmisele koostisele, eriti rasket mineraalide puhul, mis esinevad siin ühtlasi suhteliselt arvukamalt ja liigirikkamalt. Setete mineraloogiline koostis analüüsitud granulomeetrilises fraktsioonis peegeldab aga teatud määral sette terajämedust, mis koos mineraloogilise koostisega on transpordi ja settimise dünaamiliste tingimuste tulemuseks. Kihtide korreleerimisel ja liigestamisel ei ole võimalik piirduda ühesuguse terajämedusega setete analüüsimisega, vaid on vaja arvestada sette terajämeduse mõju mineraalide kooslusele.

Keskdevoni lademete mineraloogiline iseloomustus tugineb paljanditest ja puursüdamikest kogutud 220 proovi analüüsi tulemustele. Nimetatud lademete mineraloogilises koostises on valdavad oligomiktset kvartzliivad ja päevakivi-kvartzliivad, harvem vilkliivad. Aleuriitsetes naroova lademe setetes esineb sageli ka kvartz-päevakiviliivasid ja polümiktseid kvartz-vilk-päevakiviliivasid. Valitsevate mineraalide — kvartsi, päevakivi ja vilkude vahekord on pärnu ja burtnieki lademe proovides suhteliselt stabiilne, kuna aga aruküla, eriti naroova lademe litoloogiliselt vahelduvates setetes on see muutuv (joon. 1). Vertikaalses läbilõikes suureneb lasuvate setete suunas kergete mineraalide sisaldusest kvartsisisaldus, kuna päevakivide ja vilgu osatähtsus väheneb (joon. 2). Erandiks on pärnu lademe liivakivid, kus suurem kvartsisisaldus on seletatav tõenäoliselt vastavate setete korduva ümbersetamisega rannikumere piirkonnas. Mineraalide vahekord on hästi seostatav ka setete granulomeetrilise koostisega. Kolmnurkdiagrammil (keskmiseteralised liivad—peeneteralised liivad—aleuriidid) iseloomustab iga lademe setteid omaette väli (joon. 3).

Keskdevoni setete mineraloogilises koostises peegelduvad mitte ainult settimis- ja transporditingimuste muutused ning nendest sõltuv terajämedus, vaid ka terrigeensete setete lähteala kivimilis-mineraloogilise koostise muutused ning setetes toimunud dia- ja epigeneetilised protsessid. Selles suhtes väärib erilist tähelepanu rasket mineraalide liigiline koostis ja vahekord.

Rasketest allotigeensetest mineraalidest on valdavad ilmeniit ja magnetiit, millede hulk suureneb pärnu lademest (35%) burtnieki lademeni (75%). Läbipaistvate allotigeensete mineraalide hulgas on pärnu lademes ainuvalitsev granaat. Naroova lademe vahelduvaimelistele setetele on iseloomulikud apatiidi-granaadi ja apatiidi-turмалиini assotsiatsioon. Aruküla lade jaguneb mineraloogiliselt koostiselt kahte ossa: alumises osas jätkub naroova lademele omane mineraalide kooslus, ülemises osas aga esineb granaadi-tsirkooni assotsiatsioon. Burtnieki lademes on valdav tsirkoon, millega assotsieerub avamuse idaosas stauroliid, lääneosas turмалиin. Korrelatsiooni seisukohalt väärivad siin tähelepanu veel disteen ja rutiil. Peale eespool märgitud korrelatsioonilise tähtsusega mineraalide esineb keskdevoni setetes kohati veel vilke, epidooti, titaniiti, andalusiiti, korundi, topaasi, küünekiivi, pürokseene jt. Autigeensetest mineraalidest on sagedasemad raudhüdrosüüdid (limoniit), leukokseen, kloriidid, karbo-

naadid, dalliit, harvem esineb püriiti, barüüti jt. Autigeensete mineraalide vahekord (koos vilkudega, mille kuhjumine on lokaalne) on arvestatud eraldi.

Üleminekut ühest lademest teise tähistab mineraalide kvantitatiivse sisalduse muutumine. Muutused lademete piiril ei ole aga alati hüppelised (näiteks naroova-aruküla lademe piiril), mis on seletatav varasemate setete kaasahaaramisega settimisprotsessi transgressiivsete settekomplekside (lademete) alguses. Seda näitab setteosakeste parem kulutusaste ja mehaaniliselt püsivamate mineraalide (kvarts, tsirkoon, titaniit, magnetiit, kohati ka granaat) suurem osatähtsus võrreldes vähem püsivate mineraalidega (päevakivid, apatiit jt.) lademete lamameis. Mineraalide vahekorras esineb kõikumisi samuti ühe lademe piires nii vertikaalses kui ka horisontaalses suunas. Esimesed kajastavad eelkõige kõikumiste liikumiste amplituudi ja kiiruse muutusi, teised võivad olla põhjustatud kohalikest settimistingimustest. Senini läbitöötatud materjalid ei võimalda keskdevoni lademete piires esile tõsta kindlaid komplekse ja tsükleid, mis levivad Eesti NSV territooriumil kogu devoni setete avamusalal. Sellised tsükliid iseloomustavad vaid kitsamaid alasid.

Allotigeensete mineraalide iseloom keskdevoni setete vertikaalses profiilis võimaldab rääkida Fennoskandia kui keskdevoni terrigeense materjali lähteala kivimilise iseloomu muutustest seoses süveneva erosiooni-loomisega.

*Tartu Riikliku Ülikooli  
geoloogia kateeder*

## ON THE MINERALOGIC COMPOSITION OF ESTONIAN MIDDLE-DEVONIAN SANDSTONES

H. VIIDING

### *Summary*

The study of the mineralogic composition of Middle-Devonian sandy deposits is mainly based on the study of the granulometric fraction 0.1—0.06 mm. In this fraction, minerals of both the light and heavy fraction ( $e > 2.89$ ) have been determined. The relations of minerals in this range of fine-grained sandstones are nearest to the average composition of the deposits, and in particular in respect to heavy minerals, which are represented in relatively greater numbers and amounts.

The mineralogical composition of deposits in the analyzed fraction is to a certain extent reflected in the size of the grain, which, together with the mineralogical composition, is a function of the conditions of transport and sedimentation. As we cannot limit ourselves to analyzing sediments of similar size of grain, we have to consider the influence of the size of grain upon the association of minerals.

The mineralogical characterization of Middle-Devonian stages is based on the results of analysis of 220 samples collected from outcrops and

cores. In the mineralogical composition, here prevail oligomikt quartzy or felspar quartz-sands, and less frequently — mica sands. In the deposits of the aleuritic Narova stage, quartz, felspar or polymikt quartz-mica felspar sands are also to be found. The relation of the prevailing minerals — quartz-felspar-micas — is comparatively stable in the samples of the Pärnu and Burtniek stages, whereas in the lithologically varying deposits of the Aruküla and, in a particular, of the Narova stage, this relation is varying (fig. 1).

In vertical section, in the content of light minerals an increase of the quartz content may be observed, and a decrease of felspars and micas in the direction of overlying deposits (fig. 2). An exception is formed by the sandstones of the Pärnu stage, where the higher content of quartz is probably a cause of repeated re-sedimentation in a coastal sea region. The relation of minerals is well connected with the granulometric composition of the sediments. In the triangular diagram — medium-grained sands — fine-grained sands — aleurites — the deposits of each stage are characterized by a separate field (fig. 3).

The mineralogic composition of Middle-Devonian sediments reflects not only the changes in the sedimentation and transport regime and in the size of the grain, which depends on the above-mentioned changes, but it also reflects the changes in the mineralogical composition of rocks of the source area, as well as the dia- and epigenetic processes that have taken place in the sediments. From the last-mentioned point of view, of particular importance is the specific composition and proportion of heavy minerals.

Of the heavy allothigenic minerals, the predominant ones are ilmenite and magnetite, whose amount increases from the Pärnu stage (35%) towards the Burtniek stage (75%). Of the transparent allothigenic minerals, only garnet is represented in the Pärnu stage. In the Narova stage with its variable deposits, typical is the association of apatite-garnet or apatite-tourmaline. The Aruküla stage is divided into two parts as to its mineralogical composition: the lower part, where the mineralogical association typical of the Narova stage still continues, and the upper part, where the garnet-zircon association appears. In the Burtniek stage the first place is held by zircon, which is associated by staurolite in the east part of the outcrop area and by tourmaline in the west. From the viewpoint of correlation, disthen and rutile play here an important part.

Besides the above-mentioned minerals, which are of significance in correlation, the Middle-Devonian sediments contain episodically micas, epidote, titanite, andalusite, adamantite, topaz, hornblende, pyroxenes.

Of authigenic minerals, the most frequent ones are ferro-hydroxides (limonite), leucoxene, chlorites, carbonates, dallite, and less frequent ones — pyrite, barite, etc. The proportion of authigenic minerals together with micas, which occur locally, has been separately calculated.

The transition from one stage to another is expressed by changes in the quantitative content of minerals. The changes on the borders of the stages, however, are not always abrupt (e. g. on the border of the Narova-Aruküla stages), which phenomenon can be explained by the redeposition of earlier sediments.

Another evidence of this is the higher degree of roundness of the grains of sediments in the undermost parts of stages and the increasing amounts of the more resistant minerals (quartz, zircon, titanite, magnetite and partly garnet) at the expense of less resistant ones (felspars, apatite, etc.).

Fluctuations are observed in the relation of minerals in vertical as well as horizontal directions. The former reflect, above all, the amplitude and velocity of epeirogenetic movements, whereas the latter may be caused by

local sedimentational conditions. The materials investigated do not yet allow us to define precisely the complexes and cycles in the Middle-Devonian deposits, which should be distributed on the entire outcrop area. There are, however cycles, which characterize more limited regions.

The character of allothigenic minerals in the sequence of Middle-Devonian strata allows us to speak of the changes in the rock composition of the source area (Fennoscandia) during the process of erosion.

*State University of Tartu,  
Chair of Geology*