

ЭВОЛЮЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ТЕРРИГЕН- НОГО КОМПОНЕНТА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

**Х. А. ВИЙДИНГ, А. Э. КЛЕЕСМЕНТ, М. И. КОНСА,
Х. Н. ХЕЙНСАЛУ, Э. А. ЮРГЕНСОН**

Минеральный состав осадочных пород позволяет геологу понять не только сложные процессы изменения осадочных образований но и решить многие общегеологические и практические задачи. Данные о минеральном составе пород необходимы для познания как лито- и минерогенеза, так и палеовулканизма и тектоники, палеорельефа и климата. Наряду с палеогеографическими реконструкциями они содействуют корреляции изо-, а также разнофациальных отложений, немых и бедных фоссилиями.

В последнее время внимание исследователей стал привлекать вопрос об отражении различных факторов литогенеза в вещественном составе пород. Он представляет интерес как с точки зрения выявления их конкретной роли в различных типах или на различных стадиях литогенеза, так и прослеживания эволюции среды осадконакопления в конкретной геоструктурной обстановке. В этом смысле южный склон Балтийского щита с разрезом осадочных пород венда и нижнего палеозоя выступает как один из ключевых районов платформенной тектонической стабильности, находящийся в непосредственном соседстве со щитом, представляющим собой область сноса.

Систематическое изучение минерального состава терригенных пород, а также обломочного компонента карбонатных пород названного региона проводится уже в течение 20 лет. Особое внимание было обращено при этом на тяжелые минералы как на наиболее информативные. Для лучшей увязки данных, полученных различными аналитиками или исследователями, выработана согласованная методика анализа и интерпретации фактических данных (Вийдинг, 1965а, 1976).

Предлагаемый ниже обзор результатов минералогических исследований в виде усредненных данных по стратиграфическим единицам базируется на почти 2700 анализах песчаников и алевролитов, около 1300 анализах нерастворимого остатка карбонатных пород, более чем 1500 дифрактометрических анализах глин и глинистой фракции и около 1200 анализах типоморфизма минералов. В этом коллективном труде помимо авторов настоящей статьи принимали участие также М. Я. Вийдинг и К. Р. Утсал, выполнявшие аналитические работы.

Авторами М. И. Конса были изучены базальные отложения венда и кембрия, Х. Н. Хейнсалу — песчаники пакерортского горизонта ордовика, Э. А. Юргенсон — карбонатные отложения силура и А. Э. Клеесмент — нижние девонские отложения до наровских. Х. А. Вийдингом

Система		Усредненный литол. состав	Легкие минералы	Глинистые минералы	Стр. компл.	Тип литог.
Горизонт, панча						
Орд.	tsr			I I	С	Арид.
	pkI			I I I	С	
	pk			I I	С	
Кембрий	rh			? I I	С	Каледонский
	ir			K I M-I	С	
	sl			K I I	С	
	ts			K I I	С	
	/k			K I I	С	
	sr			K I I	С	
	ln ₃₋₄			K I I	С	
	ln ₂			K I I	С	
	ln ₁ ²			K I I	С	
	ln ₁ ¹			K I I	С	
ar			K I I	С	Байкальский	
Венд.	vr ₂			K K I		С
	vr ₁			K K M-C		С
	kt ₃			K I I		С
	kt ₂			K I I		С
	kt ₁			K I I		С
	gd ₃			K I I		С
	gd ₂			K I M-I	С	
gd ₁			K I	С	Гумидный	

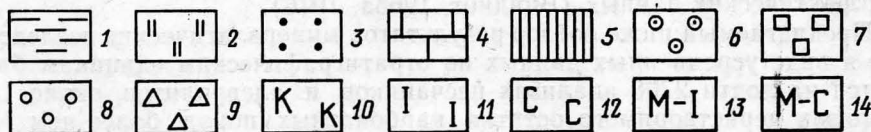


Рис. 1. Усредненный литологический и минеральный состав терригенных отложений венда и кембрия по горизонтам и пачкам.

1—4 литологический состав: 1 — глины; 2 — алевролиты; 3 — песчаники; 4 — карбонатные породы (чистые); 5—9 легкие минералы: 5 — слюды; 6 — глауконит; 7 — полевые шпаты; 8 — кварц; 9 — халцедон; 10—14 глинистые минералы: 10 — каолинит; 11 — иллит; 12 — хлорит; 13 — смешанно-слоистый монтмориллонит-иллит; 14 — смешанно-слоистый монтмориллонит-хлорит.

выполнены минералогические анализы по всему разрезу за исключением силурийских карбонатных пород и дана интерпретация усредненных данных.

Приведенные на рис. 1—6 данные согласно принятой методике изображают не среднее относительное количество тех или других минералов в породах (или в нерастворимом остатке карбонатов), а относительное содержание их в крупноалевритовой (или алевритовой) размерности.

Как можно убедиться по рис. 1, 3 и 5, алевриты или же алевритовая фракция является в рассматриваемом разрезе единственным сквозным, а в терригенных отложениях — наиболее распространенным или же господствующим компонентом.

Иллюстрированные на рис. 1—6 усредненные данные минерального состава во многом отличаются от данных, получаемых по конкретным разрезам прежде всего своей меньшей пестротой и более плавной изменчивостью состава, а также меньшим количеством характерных и существенных для разреза видов минералов. Объясняется это тем, что усреднением данных по различным фациям отложений затушевываются колебания, вызванные местными или локальными факторами минерогенеза. Поэтому на данных рисунках не отражается ряд палеогеографически важных характеристик бассейна седиментации, как например, изменения очертаний и распространенности палеобассейна в различные отрезки времени, различия минерального состава в границах бассейна седиментации, которые вызваны конседиментационными тектоническими или гидродинамическими факторами, вторичные изменения минерального состава по локальным структурам и т. д.

Таким образом, проявляющиеся на обобщенных рисунках тенденции изменения минерального состава лишены влияния узко местных факторов и случайных колебаний и поэтому лучше, чем любой конкретный разрез, выражают общий ход эволюции вещественного состава осадочного чехла венда и неогей.

Под эволюцией минерального состава осадочных пород мы понимаем процесс непрерывно-прерывистых циклических изменений под влиянием одновременно действующих или последующих друг за другом факторов литогенеза, включая вторичные изменения пород.

При этом фон периодических колебаний, обусловленный изменением этих факторов, значительно маскирует эволюцию минерального состава в более узком смысле — под влиянием необратимых процессов, протекавших в земной коре и в окружающих литосферу геосферах. Разумеется, для глобальных заключений об эволюции состава осадочных пород приведенный нами материал слишком ограничен как по площади, так и по разрезу.

Изученный разрез осадочных пород южного склона Балтийского щита представлен образованиями трех тектонических (байкальского, каледонского и герцинского) циклов. В то же время он отражает условия различных типов литогенеза и переходы между ними от опресненно-гумидных (венд) через нормально-морские гумидные (кембрий) в аридные (ордовик и силур) и до морских и континентальных образований переменного семиаридно-гумидного характера (девон). Все названные осадочные отложения, кроме образований засушливых зон ордовика и силура, представлены в основном терригенными отложениями. Хотя кластогенез в карбонатных отложениях характеризуется рядом специфических черт (Юргенсон, Вийдинг, 1982), тем не менее полученные по разрезу карбонатных отложений данные позволяют получить целостную картину о кластогенезе в течение всего рассматриваемого периода, различить особенности минерогенеза по всем выделенным типам литогенеза и тектоническим циклам.

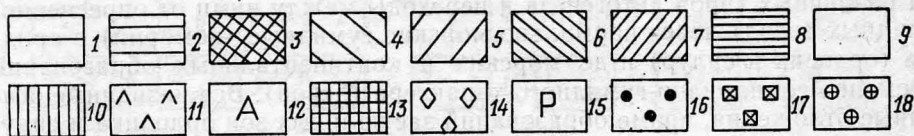
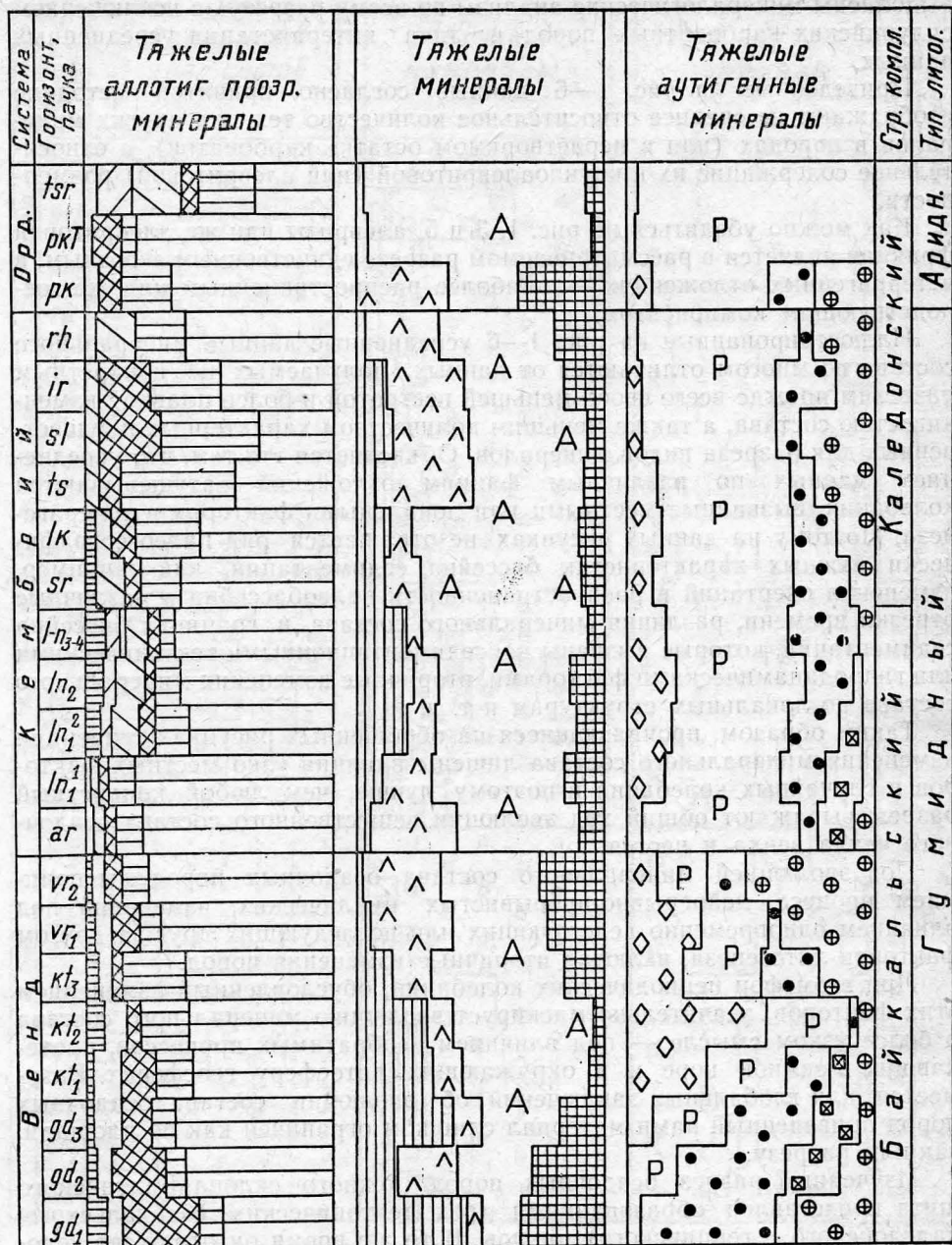


Рис. 2. Минеральный состав тяжелой фракции терригенных отложений венда и кембрия по горизонтам и пачкам.

1—9 прозрачные аллотигенные минералы: 1 — циркон; 2 — турмалин; 3 — рутил и др. титанистые минералы; 4 — гранат; 5 — апатит; 6 — ставролит; 7 — дистен; 8 — неустойчивые (амфиболы, пироксены, эцидоты); 9 — остальные минералы; 10—13 основные группы тяжелых минералов: 10 — слюды; 11 — аллотигенные минералы; 12 — аутигенные минералы; 13 — черные рудные минералы; 14—18 аутигенные минералы: 14 — карбонаты (в терригенных отложениях); 15 — пирит; 16 — окислы и гидроокислы железа; 17 — анатаз; 18 — лейкоксен.

Для расшифровки полученных данных по эволюции минерального состава осадочных пород необходимо учитывать влияние на формирование состава обломочных минералов по меньшей мере семи существенных и постоянных, а также некоторых эпизодически действующих факторов кластогенного минерагенеза. К постоянно действующим факторам следует отнести геоструктурное положение бассейна седиментации, петрографию питающей провинции, тектонический режим, климатические условия, гидродинамику среды осадконакопления, гидрохимию бассейна осадконакопления и постседиментационные процессы. Кроме названных факторов, как основных на примере рассматриваемого разреза, необходимо учесть также некоторые эпизодические факторы, играющие в формировании состава и характера кластогенного компонента весьма существенную роль: конседиментационную вулканическую деятельность и пульсационное поступление космического материала. Разумеется, относительная роль, проявление во времени и пространстве каждого из перечисленных факторов могут быть весьма различными.

Рассмотрим проявление их на фоне конкретного хода эволюции минерального состава на южном склоне Балтийского щита. Геоструктурное положение бассейна седиментации, т. е. расположение его относительно крупных элементов земной коры, а также относительно области (или областей) сноса, постоянство или изменчивость взаимоотношений их в различные геологические этапы — все это имеет для формирования состава осадков первостепенное значение.

Южный склон Балтийского щита выделился от поднимающегося Балтийского щита в результате возникновения субширотной флексуры уже в хогландий-иотний (Полканов, 1956). По обе стороны этой линии до настоящего времени происходили балансирующие движения фундамента при преобладании положительного знака в Балтийском щите, и отрицательного — к югу от флексуры. В структурном плане южный склон щита стал формироваться в валдайское время, когда в связи с его погружением на нем образовались пресноводные водоемы, отложения которого покрывали ложу кристаллического фундамента. Таким образом, ввиду приподнятого положения, Балтийский щит служил для его южного склона в течение всего рассматриваемого геологического времени основным, а иногда и единственным источником сноса терригенного материала.

За исключением района Валмиеро-Локновского выступа, являющегося южной границей южного склона Балтийского щита, местные коренные кристаллические породы были в основном погружены и с середины гдовского времени перестали существовать как поставщики терригенного материала. Блоковые поднятия фундамента в районе Ульясте, существовавшие в венде как местные источники материала кристаллических пород, были погребены под осадочными образованиями к началу кембрия.

Судя по минеральным ассоциациям в районе Мынисте, в гдовское, котлинское, воронковское и лонтоваское времена продолжали существовать ограниченные местные поднятия кристаллических пород, продукты денудации которых дали ощутимую местную примесь к привнесенному от щита более зрелому терригенному материалу. На кластогенез в Северо-Западной Эстонии несомненное влияние оказывала в ранне- и среднеордовикское время кольцевая структура Кярдла (о-в Хийумаа). Влияние местных поднятий кристаллического фундамента на эволюцию кластогенеза довольно ограничено по площади и эпизодично по времени. По усредненным для всего южного склона данным минерального состава это влияние проявляется слабо.

Высказанное выше положение о Балтийском щите как о постоянной области сноса для его южного склона нельзя понимать так, что размыту

Система Горизонт, пачка	Усредненный литол. состав	Легкие минералы	Глинистые минералы	Стр. компл.	Тип литог.
jr		□ ○ ○ ○ ○	I I C	К а л е д о н с к и й А р и д н ы й	
pg	:	□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I M-I M-C		
pg		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
vr		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
nb		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
rk		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
an		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
kl		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
jh		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
id		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
kk		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
uh		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
ls		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
as		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
kn		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
vl		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
lt		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
tsr		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
pkT		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
pk		□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I I I C		
rh	. . .	□ ○ ○ ○ ○ ○ ○	K I I C		

Рис. 3. Усредненный литологический и минеральный состав карбонатных отложений ордовика по горизонтам или пачкам. Усл. обознач. см. на рис. 1.

подвергались там непрерывно лишь кристаллические породы или кора выветривания их. Например, в кембрии, когда на южном склоне щита накапливались существенно глинистые и песчаные отложения от лонтоваского до ирбенского времен, морем были залиты и значительные части щита. Об этом свидетельствуют алевролиты и песчаники соответствующего возраста, описанные в виде реликтов в кольцевой структуре Седерфьярвена в Западной Финляндии (Laurén ect., 1978), а также на дне Ботнического залива (Thorslund, Axberg, 1980). Последний представлял собой до ордовика депрессию — краевый прогиб, отделявший каледонскую геосинклиналь от платформенного щита. На широкое рас-

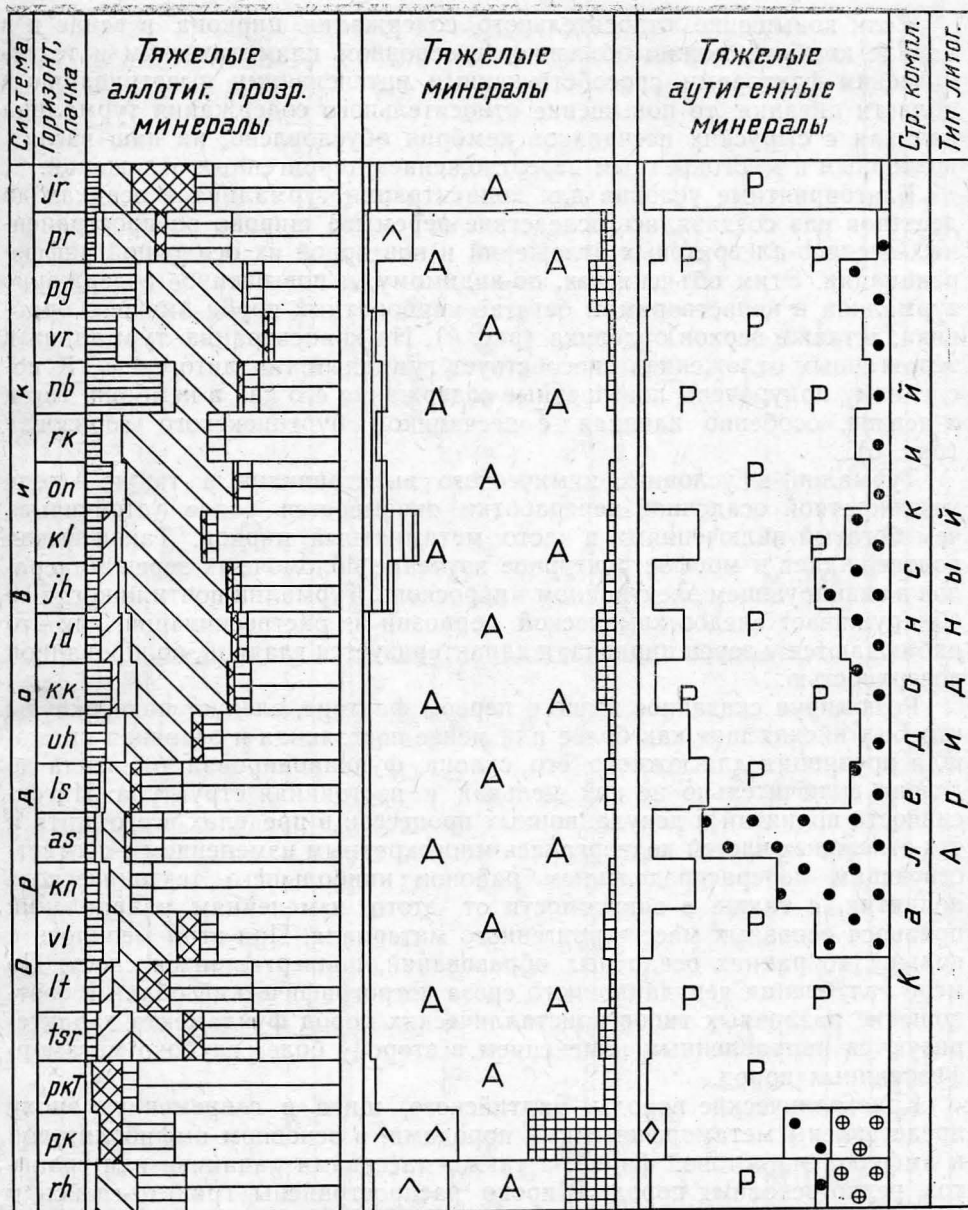


Рис. 4. Минеральный состав тяжелой фракции нерастворимого остатка карбонатных отложений ордовика по горизонтам и пачкам. Усл. обознач. см. рис. 2.

пространение осадочных образований, служивших материалом сноса, указывает и резко возрастающая зрелость минерального состава алевролитов-песчаников конца кембрия. Характерным признаком для перетолженных ранних осадочных образований служит и повышенное содержание турмалина в группе прозрачных аллотигенных тяжелых минералов. Максимумы турмалина установлены в тискреских и созласких алевролитах, которые отличаются и наибольшим содержанием кварца (рис. 1, 2). В то же время заслуживает внимания парадоксальный на первый взгляд факт, что названному интервалу разреза с наиболее зрелым минеральным составом соответствует минимум относительного содержания циркона (рис. 2).

Если повышение относительного содержания циркона в венде и в начале кембрия можно объяснить в основном климатическим и тектоническим факторами, способствующими интенсивному выветриванию в области питания, то повышение относительного содержания турмалина начиная с сырских песчаников кембрия обусловлено, на наш взгляд, повторным и многократным переотложением терригенных отложений.

Благоприятные условия для концентрации турмалина в осадках до десятков раз создавались вследствие перемеыва широко распространенных песчано-алевритовых отложений и повторной их осадочной дифференциации. Этим объясняется, по-видимому, и повышенное содержание турмалина в нерастворимом остатке карбонатных пород нижнего ордовика, а также верхов ордовика (рис. 4). На концентрацию турмалина в терригенных отложениях способствует гумидный тип литогенеза. К последнему приурочены повышенные содержания его как в кембрии, так и в девоне, особенно начиная с песчаников буртниецкого горизонта (рис. 6).

Турмалин в условиях химического выветривания, а также в ходе многократной осадочной переработки оказывается более устойчивым, чем богатый включениями и часто метамиктный циркон. Такой вывод подтверждает и морфоструктурное изучение обломочных зерен минералов в сканирующем электронном микроскопе. Турмалин почти никогда не обнаруживает следов химической коррозии и растрескивания, как это наблюдаются у зерен циркона, и характеризуется гладкой, полированной поверхностью.

Резюмируя сказанное выше о первом факторе, следует подчеркнуть, что Балтийских щит как более или менее постоянная и основная питающая провинция для южного его склона функционировал от венды до девона включительно не как цельная и постоянная структура. Интенсивность поднятий и денудационных процессов в пределах всего щита и его отдельных частей подвергалась многократным изменением с соответствующим перераспределением районов наибольшего тектонического поднятия, а также в зависимости от этого изменениям направлений привноса основных масс терригенного материала. При этом менялось и количество ранних осадочных образований, подвергавшихся сносу. По мере углубления денудационного среза петрографический облик и соотношение различных типов кристаллических пород фундамента характеризуются направленным изменением в сторону более глубоко метаморфизованных пород.

Кристаллические породы Балтийского щита в современную эпоху представлены метаморфическими породами, в основном амфиболитовой и амфибол-эпидотовой фаций, а также массивами рапакиви или гранитов, редко основных пород. Широко распространены гранито-гнейсы и гнейсо-граниты, мигматиты, амфиболиты и секущие их маломощные жилы пегматитов. Примерно такую же картину мы встречаем и на территории южного склона Балтийского щита, который в структурном плане является прямым продолжением архейских, нижне- и среднепротерозойских комплексов щита, но отличается от него менее глубоким эрозионным срезом, существовавшим на щите почти полмиллиарда лет назад.

Усиление роли метаморфитов более высоких фаций метаморфизма в материнских породах обломочных минералов в направлении к более молодым отложениям проявляется относительно слабо ввиду небольшого содержания в исходных породах соответствующих индикаторных минералов, как альмандин, ставролит, дистен, силлиманит и др., а также малой устойчивости последних в зоне гипергенеза. Но, несмотря на это, указанная тенденция четко обнаруживается на примере верхних горизонтов терригенных пород девона, которые представлены в общем весь-

вполне обоснованное для мезо-кайнозойских отложений с повышенным содержанием менее устойчивых компонентов, по материалам вендо-палеозойских отложений южного склона шита не подтверждается. Амфиболы, эпидоты, а также ассоциирующийся с ним нередко корунд отмечаются в более значительных количествах только в карбонатных и глинистых отложениях; силлиманит, весьма характерный в породах фундамента, в древних отложениях ввиду его низкой устойчивости крайне редок. Индикаторный для метаморфических пород дистен сопровождается в рассматриваемых отложениях всегда ставролитом, причем количество ставролита, как правило, всегда больше дистена. Высокое содержание в ассоциации тяжелых минералов гранатов, в том числе и альмандина, появляется, начиная с ухакусского горизонта в ордовике и выше характерно для всего разреза до гумидных терригенных отложений девона (рис. 4 и 6). В последних гранат и апатит подвергались химическому выветриванию.

Распределение областей сноса и осадконакопления, а также глубина эрозионного среза питающей области предопределены развитием тектонических процессов, прежде всего колебательных движений. Влияние фактора тектонических движений на минеральный состав отложений на примере рассматриваемого разреза выражено не особенно четко. Сравнение эволюции минерального состава в пределах 3-х тектонических циклов позволяет подтвердить характерные тенденции в пределах каждого из них — потухание интенсивности в середине цикла и поступление менее выветрелого (менее зрелого) материала в начале и конце цикла. Это подтверждается содержанием кварца, полевых шпатов, а в меньшей мере и устойчивых тяжелых минералов. Но при сравнительной оценке тенденций к изменению минеральных ассоциаций в пределах указанных циклов необходимо учитывать неполноту разреза отложений как байкальского, так и герцинского циклов, а также их различный формационный характер. Последним обстоятельством можно объяснить закономерности распределения в циклах различных аутигенных минералов — например, глауконита, пирита, гидроокислов железа, а отчасти и слюд.

Кроме того, отклонения от общей схемы колебательных движений в рамках тектонического цикла могли быть вызваны наложением на них колебаний второго порядка или же дифференцированных блоковых движений. Последние могли вызвать перемещение областей сноса и при этом денудации подвергались области с глубоко разложившимися породами. Особенно наглядно такие наложенные движения проявляются на конкретных разрезах.

Сопряженно с тектоническими переменами менялись и климатические условия, причем последние во многих случаях обусловлены первыми. Можно сказать, что количество терригенных осадков и минеральные ассоциации снесенного в бассейн обломочного материала зависят не только от тектонических условий, а в среде платформенной тектонической стабильности даже в большей мере от климатических. Глубина и характер процессов выветривания, а в зависимости от них и интенсивность денудационных процессов, являются функциями обоих факторов. Оценка их конкретной роли затруднительна, чем и объясняются разногласия в вопросах о ведущем факторе лито- и кластогенеза.

Совпадение периодов интенсивных тектонических поднятий с периодами гумидного климата на Балтийском шите в венде и кембрии, а также начиная с живетского века в девоне обусловили, во-первых, широкое развитие в бассейне седиментации терригенных отложений, чему способствовал интенсивный сток речных вод и влекомая ими громадная масса обломочного материала. Во-вторых, интенсивное выветривание исходных пород этого периода соответствует высокой и возрастающей к концу цикла зрелости минерального состава накопленных терригенных отложений.

Система Горизонт, пачка	Тяжелые аллотиг. прозр. минералы	Тяжелые минералы	Тяжелые аутигенные минералы	Стр. компл.	Тип литог.
Д в о н	am gj br ar ₂ ar ₁ nr ₂ nr ₁ pr rz tl	^ A ^ A ^ A ^ A ^ A ^ A ^ A ^ A ^ A	• ⊕ • ⊕ • ⊕ Р • ⊕ Р • ⊕ Р • ⊕ Р • ⊕ Р • ⊕ Р • ⊕	Гум.	Герцинский
С и л у р	sh ₂ sh ₁ vr ₂ vr ₁ pd jg-rf jn ad rk jr pr	A A A A A A A A A A ^ A	Р Р Р Р Р Р Р Р Р Р Р	А	Каледонский

Рис. 6. Минеральный состав тяжелой фракции нерастворимого остатка карбонатных отложений силура, а также терригенных и терригенно-карбонатных отложений девона.
Усл. обознач. см. на рис. 2.

Зона карбонатного осадконакопления в зависимости от массы привнесенного кластического материала при гумидном типе литогенеза располагалась на значительном расстоянии от берега или отсутствовала вовсе, как это и имело место в венде и кембрии Прибалтики.

Осаждению карбонатного материала препятствовала большая масса пресной речной воды, разбавлявшая морскую воду. Карбонатный материал в терригенных отложениях венда и кембрия представлен в виде наложенной, постседиментационной минерализации (Пиррус, 1977).

Отложения венда, а менее четко и кембрия, представлены на южном

склоне щита отдельными крупными седиментационными циклами, которые начинаются и кончаются относительно крупнозернистыми обломочными отложениями. Соответственно этому минеральный состав их легкой и тяжелой фракций обнаруживает симметричное строение. В обоих циклах аналогично (как в наиболее ранних, так и поздних отложениях) наблюдается повышенное содержание черных рудных минералов, лейкоксена, а также суммы прозрачных аллотигенных минералов, которые приурочены к песчаникам и алевrolитам (см. рис. 1, 2). О высокой зрелости минерального состава говорят как цирконо-турмалиново-рутиловая ассоциация тяжелых аллотигенных минералов, так и иллито-каолиотиновый состав глинистой фракции.

Несколько иной, менее симметричный характер носит минеральный состав разреза девона, из которых только живетско-франские терригенные отложения накапливались при гумидных условиях, нижний карбонатно-терригенный пестро- и красноцветный комплекс представлен отложениями с явными признаками аридного литогенеза.

Рубеж между кембрием и ордовиком являлся временем перестройки типа литогенеза в сторону аридизации. Нижнеордовикские песчаники тремадокского века, с известными залежами ракушечных (оболовых) фосфоритов накопились в изменчивых климатических условиях. В начале подвергались перемию высоkozрелые кембрийские отложения, широко распространенные до ордовикской трансгрессии. Выше по разрезу следы наследственности постепенно затушевываются. Появление новых элементов в ассоциации тяжелых минералов и иллитовой ассоциации глинистых минералов (Хейнсалу, Вийдинг, 1978) свидетельствует о новом этапе терригенного осадконакопления.

Состав глинистых минералов как в ордовике, так и силуре довольно однообразный — хлорито-иллитовый и присущ аридному типу литогенеза. Ассоциации аллотигенных минералов, как легких, так и тяжелых, отличаются по сравнению с терригенными отложениями повышенным содержанием средне- и малоустойчивых минералов, что объясняется во многом следующими факторами. Судя по повышению роли песчано-алевритового материала и его минералогической зрелости, некоторую гумидизацию климата можно предполагать в конце ордовика и в начале ландовери. Конец силура характеризуется значительным повышением роли слюдястых минералов (рис. 6), что объясняется уже специфическими гидродинамическими условиями.

Гидродинамика среды осадконакопления, т. е. фациальная обстановка тесно связана с описанными выше тектоникой и климатом и является в значительной мере производной от них. Она приобретает относительную самостоятельность в рамках одной осадочной формации, а в вертикальном разрезе — при широком распространении отложений одной и той же фации.

Необходимо отметить, что фациальная приуроченность обломочных и глинистых минералов характеризует не только терригенные отложения, в которых ассоциации минералов различных фаций нередко отражают гранулометрический состав обломочных отложений. Четкая дифференциация обломочных минералов, обусловленная гидродинамикой среды, установлена нами также по изучению нерастворимого остатка в карбонатных отложениях. Она выражается в закономерном возрастании количеств менее устойчивых минералов — полевых шпатов, граната, амфиболов, пироксенов, а также слюд и корунда поперек склона палеобассейна в сторону более глубоких частей бассейна. Это, на первый взгляд, парадоксальное явление объясняется, по-видимому, частично гранулометрической дифференциацией терригенного материала и склонностью неустойчивых минералов (полевые шпаты, амфиболы, пироксены) и слюд концентрироваться в мелкоалевритовой и пелитовой фрак-

циях. Ясной дифференциацией по минералогическим критериям отличаются, например, все ниже- и среднеордовикские отложения начиная с латорпского горизонта. Особенно четко выражена зональность по минералогии в оандуское время, для которого характерно и относительное обогащение терригенным материалом.

В отложениях регрессивной стадии верхнеордовикского бассейна установившаяся раньше зональность особенно нарушается начиная с вормисского времени. В бассейн стало поступать резко повышенное количество неустойчивых минералов, иногда достигающее 70—80% от количества аллотигенных тяжелых минералов. Фациальные границы по минеральному составу здесь как будто резко сдвинуты на юг. Все это отражается и на иллюстрированном усредненном минеральном составе разреза.

Отложения первого цикла силура — юрусские и райккюлаские глинистые известняки отличаются как по фациальной зональности, так и по ассоциациям тяжелых аллотигенных минералов. Начавшаяся в адавереское время трансгрессия с последующей регрессией, четко отражается в постепенном закономерном изменении минерального состава, в частности в виде сокращения количества граната (рис. 6).

Следующим постоянно действующим фактором, преобразующим кластические компоненты, в частности глинистые минералы в морских бассейнах, а также в период миграции их в конечные водоемы под влиянием активного воздействия воды и содержащихся в них соединений, следует назвать гидрохимический фактор. Здесь необходимо учесть трансформации глинистых минералов, в том числе в условиях карбонатного осадко-накопления, которые характеризуются исключительно иллит-хлоритовой ассоциацией. Нет сомнения, что глинистые минералы частично являются продуктом распада ряда неустойчивых минералов — полевых шпатов, роговых обманок и слюд в бассейнах седиментации.

Процесс глинообразования в условиях аридного климата и вялого тектонического режима в ордовике и силуре в области сноса практически прекратился и перенесся в бассейн седиментации. Зона карбонатонакопления примыкала, по-видимому, непосредственно к берегу. Но основная масса глинистых частиц приурочена не к прибрежной части, а к более глубокоководным карбонатным отложениям.

По данным Л. Пылма (1972 а, б), относительное количество терригенного компонента (нерастворимого остатка) в ордовике в северной структурно-фациальной зоне составляет в среднем 17%, в то время как в осевой зоне оно достигает 42%. Такая же закономерность наблюдается в силуре. Отмеченное здесь возрастание роли терригенного компонента поперек палеосклона бассейна закономерно для его глинистого компонента, в то время как алевритовая фракция приурочена к северной, прибрежной части бассейна.

Гидрохимическому фактору частично обязано также образование зерен глауконита за счет распада некоторых обломочных минералов, например биотита, роговых обманок и пироксенов. Об этом свидетельствуют обнаруженные иногда явные псевдоморфозы глауконита по этим минералам и постепенные переходы обломочных минералов в глауконит.

Влияние постседиментационных процессов на ассоциации обломочных минералов рассматриваемого разреза ввиду его незначительного погружения проявляется относительно слабо и в характере эволюции минерального состава выражается прежде всего в виде понижения фоновое содержания менее устойчивых к химическому выветриванию минералов. Проведенные нами сравнительные исследования минерального состава девона по чередующимся слоям, отличающимся между собой по литологическому составу, степени цементации или других вторичных

процессов, а также по окраске, доказали селективный характер вторичных изменений (Viiding, 1961, Tamme, 1962, 1965). Выявлено, что более значительные изменения в минеральных ассоциациях может вызвать так называемое внутрислойное растворение в чередующихся с глинами или карбонатными породами песчаниках, в которых в течение продолжительного времени циркулировались межпластовые воды. Этим явлением объясняется повышенное содержание апатита, граната и других менее устойчивых минералов в прослоях, цементированных в ранних стадиях диагенеза, а также менее зрелая минеральная ассоциация карбонатных пород и глин по сравнению с песчаниками и алевролитами.

Особое значение имеет рассматриваемый фактор при поведении титанистых минералов ряда ильменит-рутил-лейкоксен-анатаз. Из них два первых, как правило, являются аллотигенными компонентами, а последний — аутигенным образованием. Лейкоксен имеет двойкий характер — он может быть принесен из области сноса, но иногда является и результатом лейкоксенизации ильменита, о чем может говорить четкая отрицательная корреляция его относительных содержаний с ильменитом. Повышенные количества лейкоксена в рассматриваемом разрезе приурочены к терригенным отложениям, а анатаза — к трансгрессивной части как вендского, так и кембрийского циклов терригенных пород.

Из эпизодически действующих факторов кластогенеза наибольшее влияние на эволюцию минерального состава рассматриваемого разреза оказала, несомненно, вулканическая деятельность, приуроченная к средней части каледонского тектонического цикла. Вулканизм байкальского цикла, как фактор литогенеза в осадочных породах южного склона Балтийского щита, был сильно подавлен обильным терригенным материалом и представляет лишь теоретический интерес.

Для обломочного компонента карбонатных пород ордовика и силура характерна значительная примесь вулканогенного материала. Она представлена в виде свежего прозрачного полевого шпата — санидина, оскольчатых зерен кварца и халцедона, темно-коричневых правильно ограниченных листочков биотита и раскристаллизованных мелкоагрегатных глинистых частиц, в частности смешанно-слоистых минералов типа монтмориллонит-иллит. В обильном количестве появляются указанные минералы в нерастворимом остатке карбонатов начиная с ласнамягиского горизонта.

Типичными индикаторами вулканогенности материала в аксессуарных минералах служат идиоморфные игольчатые кристаллики циркона и апатита, а в ордовике нередко и остроугольные зерна граната. Названная вулканогенная примесь оказала ощутимое влияние на минеральную ассоциацию ордовика и силура. В составе легких минералов повышенное содержание полевых шпатов хорошо коррелируется с содержанием халцедона и периодами наиболее интенсивного поступления вулканогенного материала (рис. 3, 5).

Менее существенное, чем вулканизм, влияние на кластогенез оказывает поступление в осадки космического материала. Хотя значительные скопления космической пыли и метеоритного вещества установлены у нас и в гдовских песчаниках венда, где они сохранились до наших дней благодаря благоприятным условиям (Вийдинг, 1965б), основным фиксатором распыленного внеземного вещества являются все же карбонатные породы. Систематический анализ нерастворимого остатка последних позволяет выдвинуть положение о пульсационном характере поступления на Землю космического материала выше фонового количества. Об этом свидетельствует приуроченность повышенных количеств космической пыли в виде магнетитовых шариков к определенным интервалам геологического времени (например, к волховскому, ухакусско-кукурузескому и ворпси-пиргускому). Дальнейшие исследования должны установить

периодичность и масштабы проявления (степень, глобальность) этого интересного феномена.

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что формирование минерального состава обломочных минералов и эволюция их в течение геологического времени являются функцией многих, как одновременно действующих, так и последующих друг за другом основных и эпизодических факторов. Для установления конкретной роли каждого из них необходимы тщательные и подробные минералогические исследования по конкретным разрезам с учетом всех гранулометрических фракций, а также обобщения всего имеющегося аналитического материала по определенному геологическому региону. Приведенное в данной статье представление о колебаниях минерального состава по вертикальному разрезу венда и палеозоя должно способствовать дальнейшему осмыслению сложной истории минера- и литогенеза в Прибалтике.

Академия наук Эстонской ССР
Институт геологии

ЛИТЕРАТУРА

- Вийдинг Х. Некоторые методические вопросы литолого-минералогического анализа песчано-алевролитовых пород Прибалтики. Тр. по геол. III. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 168. Тарту, 1965а, с. 5—27.
- Вийдинг Х. Метеорная пыль в низах кембрийских песчаников Эстонии. — Метеоритика, вып. XXVI. М. 1965б, с. 132—139.
- Вийдинг Х. Об интерпретации данных минералогического анализа. Сб.: Методика и интерпретация результатов минералогических и геохимических исследований. Вильнюс, изд-во «Мокслас», 1976, с. 53—59.
- Окнова Н. С., Гроссгейм В. А. Эволюция комплекса акцессорных минералов в породах осадочного чехла Русской платформы. — Вестник Ленинградского гос. ун-та, 1973, № 12.
- Пиррус Э. Основные черты карбонатной минерализации в терригенных отложениях кембрия Северной Прибалтики. — Изв. АН ЭССР, т. 26. Хим. Геол. 1977, № 3, с. 191—197.
- Пылма Л. Состав и количество детрита в отложениях осевой фациальной зоны ордовика Прибалтики (по скважине Энгуре). — Изв. АН ЭССР, т. 21. Хим. Геол. 1972а, № 2, с. 148—154.
- Пылма Л. Состав и количество детрита в отложениях северной фациальной зоны ордовика Прибалтики. — Изв. АН ЭССР, т. 21. Хим. Геол. 1972б, № 14, с. 326—332.
- Полканов А. А. Геология хогландия-иотния Балтийского щита. Тр. лаборатории геол. докембрия АН ЭССР, вып. 6. М.-Л., 1956, 122 с.
- Ронов А. Б., Михайловская М. С., Солодкова И. И. Эволюция химического и минералогического состава песчаных пород. Сб.: Химия земной коры, т. I. М. 1963, с. 201—262.
- Тамме А. Э. О минералогии наровского горизонта. В кн.: Геология палеозоя. Тр. Ин-та геол. АН ЭССР, Х. Таллин, 1962. с. 251—260.
- Тамме А. Э. О некоторых диа- и эпигенетических явлениях в среднедевонских отложениях Эстонии. В сб.: Ученые записки ТГУ, вып. 168, Тарту, с. 61—67.
- Хейнсалу Х., Вийдинг Х. О минеральном составе нижнеордовикских фосфатоносных и подстилающих их отложений в Северной Эстонии. — Изв. АН ЭССР, т. 27. Геол. 1978, № 2, с. 46—52.
- Юргенсон Э., Вийдинг Х. Особенности кластогенеза в карбонатных породах нижнего палеозоя Северной Прибалтики. Изв. АН ЭССР, т. 31. Геол. № 3, 1982, с. 85—92.
- Laurén, L. Lehtovaara, J., Boström, R., Tynny, R. On the geology and the Cambrian sediments of the circular depression at Söderfjärden, Western Finland. Geological Survey of Finland Bulletin 297. Espoo 1978, 82 p.
- Thorslund, P., Axberg, S. Geology of the southern Bothnian Sea. Part I. Bull. of the Geol. Inst. of the Univ. of Uppsala. N. S. vol. 8, 1980, p. 35—62.
- Viiding, H. Võrdlemaid andmeid erivõrville devoni liivakivide mineraloogiast ja litoloogiast. Geoloogilised märkmed № 2, Tallinn, 1961. lk. 34—39.

EVOLUTION OF THE TERRIGENOUS COMPONENT OF SEDIMENTARY ROCKS OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE BALTIC SHIELD

H. VIIDING, M. KONSA, A. KLEESMENT,
H. HEINSALU, E. JÜRGENSON

Summary

Mineralogical analyses of more than 2700 samples of sandstone or siltstone and over 1300 of insoluble residues of carbonate rocks, also data obtained from the X-ray analysis of over 1500 clay fractions have been generalized in the present paper. Relative content of the average lithological composition of clay minerals, light and heavy fraction minerals, also that of authigenic and transparent allothigenic minerals, figured out for stages or formations, have been given in Figs. 1—6.

Fluctuations of the mineral composition of sedimentary rocks on the southern slope of the Baltic Shield from the Vendian to the Devonian can be followed in a relatively complete section. That period of time comprises sedimentary rocks of three tectonic cycles and reflects different types of lithogenesis, beginning with the fresh-water or normal sea of humid climate down to the marine or continental arid type.

Changing ratios of minerals in geological time are treated as an expression of a complicated coinfluence of many mutually connected and contemporaneous or consecutive lithogenetic factors. The main factors influencing clastic minerogenesis in the Vendian and Paleozoic sedimentary rocks of the southern slope of the Baltic Shield are geostructural position of the sedimentary basin with regard to the shield as a more or less constant area of denudation and source of terrigenous material, petrographic composition of the Baltic Shield, tectonic regime within the sedimentary basin as well as in the adjoining areas, climatic conditions, hydrodynamics of the sedimentary environment and postsedimentational processes. Episodic factors include the influence of volcanic activity and the periodic influx of cosmic material, the amount of which exceeds the background. The changes of all these factors during the geological time are reflected in cyclical changes of the mineral composition of the generalized section.

Evolution of the terrigenous component can be seen, beside cyclical changes of maturity of the mineral composition, also in the changes of mineral associations that reflect the evolution of geospheres around the lithosphere and the lowering of the erosional surface of the Baltic Shield into rocks of deeper facies of metamorphism.