Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXXXV, 1981 г.

УДК 551.332

РАСЧЛЕНЕНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ВЕЩЕСТВЕННОМУ СОСТАВУ

И. А. ОДЕССКИЙ, Э. Л. КАМЕНЕЦКАЯ, Г. И. ГУРЕВИЧ

Проблема надежного расчленения четвертичных отложений северо-запада европейской территории СССР особенно остро встала в связи с поисками строительного сырья и расширением мелиоративных работ.

Как известно, в основу стратификации четвертичных толщ ледникового генезиса положен климато-стратиграфический принцип, позволяющий по находкам микрофауны и флоры реконструировать климатические этапы, сменявшие друг друга в четвертичный период, и по ним устанавливать последовательность формирования ледниковых и межледниковых отложений. Такой традиционный путь изучения стратиграфии четвертичных отложений имеет, однако, существенные недостатки. Во-первых, микропалеонтологические и палинологические определения требуют больших затрат труда и средств, что затрудняет их массовое исполнение. Во-вторых, климато-стратиграфическое расчленение оказывается безуспешным в тех случаях, когда исследуемые разрезы являются стратиграфически неполными, особенно при выпадении из них межледниковых образований, обычно обогащенных органическими остатками.

Не случайно многие исследователи, занимавшиеся четвертичными образованиями (Е. В. Рухина, А. Раукас, А. И. Гайгалас, В. Даниланс, А. В. Матвеев, М. Ксеншкевич и другие), стали обращаться к вещественному составу отложений, пытаясь установить их стратиграфическую принадлежность по изменениям петрофонда источников сноса. Однако эти поиски выполнялись разными авторами по различным литологическим характеристикам и не носили систематического характера.

При исследовании четвертичных отложений Калининградской области, проводившихся авторами статьи в течение 1975—1980 гг., был применен вещественно-генетический принцип стратификации, построенный на комплексном анализе вещественного состава отложений. Вещественные критерии расчленения толщи устанавливались на трех уровнях организации геологических тел: элементарном, минерало-гранулометрическом и петрографическом.

Элементарный состав отложений определялся с помощью полуколичественного спектрального анализа на 15 химических элементах: меди, цинке, свинце, хроме, ванадии, кобальте, олове, вольфраме, молибдене, никеле, марганце, мышьяке, титане, стронции и барии.

Минеральный состав устанавливался по иммерсионной фракции 0,1—0,01 мм с выделением следующих минералов и минеральных групп: турмалин, циркон, рутил + анатаз, гранат, рудные, эпидот, пироксен, амфибол, группа лейкоксена, сульфиды, карбонаты, глауконит, фосфат, окислы и гидроокислы железа, кварц, полевые шпаты, слюды. Учитывались также содержания в образцах тяжелой фракции и нерастворимого остатка. Кроме того, рассчитывались предложенные В. П. Казариновым коэффициенты устойчивости отдельно по тяжелой $К_{уТ}$ и легкой $К_{уЛ}$ подфракциям. При расчете $К_{уТ}$ в числителе суммировались процентные содержания весьма устойчивых (турмалин, циркон, рутил, анатаз, гранат, шпинели) и устойчивых (рудные, группа лейкоксена) минералов. Знаменатель составляли минералы неустойчивые (эпидот, цоизит, пироксен, амфибол, андалузит, глауконит, фосфаты, апатит, барит, окислы и гидроокислы железа) и весьма неустойчивые (сульфиды и карбонаты). Коэффициент $К_{уТ}$ устанавливался как отношение содержания кварца ко всем остальным минералам легкой подфракции.

Параллельно с этим проводился минералогический анализ по предложенной М. Н. Чуевой методике, позволившей устанавливать соотношение в породах терригенной и тонкодиспергированной порошкообразной разновидностей соответственно кварца и карбонатов.

На данном материале были опробованы также методы термического и рентгеноструктурного анализов, однако широкого применения в настоящих исследованиях они не получили, так как оказались мало информативными.

Петрографический анализ проводился как по гравийно-галечным отложениям, так и по включениям псефитового материала в моренных образованиях. Причем кроме исследования петрографического состава обломков определялась также гранулометрическая структура соответствующих отложений и изучались морфометрические особенности обломков, выраженные через коэффициенты окатанности, уплощенности и изометричности. Эти показатели устанавливались как по образцу в целом, так и отдельно по петрографическим группам, объединявшим обломки пород следующего состава: магматические кислые и средние; магматические основные и ультраосновные; метаморфические; песчаники; алевролиты и аргиллиты; карбонатные породы (известняки, доломиты и мергели). Такая группировка пород построена на степени устойчивости их к истиранию в процессе транспортировки, а также на их связи с разнохарактерными источниками питания.

Для выяснения связи вещественных характеристик со стратиграфическими подразделениями рассматриваемой толщи был выполнен необходимый объем микропалеонтологических и палинологических определений по некоторым опорным разрезам, отличающимся наибольшей мощностью и полнотой.

Как показали итоги проведенных исследований, наиболее информативными оказались результаты минералого-гранулометрического и спектрального анализов.

Исходя из общих представлений о формировании четвертичных отложений рассматриваемой территории представилось целесообразным подразделить все минералы, обнаруженные в образцах, на эрратические и местные. Как известно, эрратические минералы исследователи связывают с источниками сноса, расположенными в пределах Скандинавии и представленными магматогенно-метаморфогенными комплексами пород. Местные минералы (сульфиды, карбонаты, фосфаты, глауконит, окисные и гидроокисные соединения железа) не выдерживают длительной транспортировки и поступают в четвертичные отложения из местных коренных пород неогенового, палеогенового и мелового возраста.

По сравнению с эрратическими содержание местных минералов в породах должно быть наименее устойчивым, так как их ассимиляция молодыми образованиями могла либо вообще не происходить, либо повторяться многократно. Это подтверждается значениями коэффициентов вариации V (рис. 1).

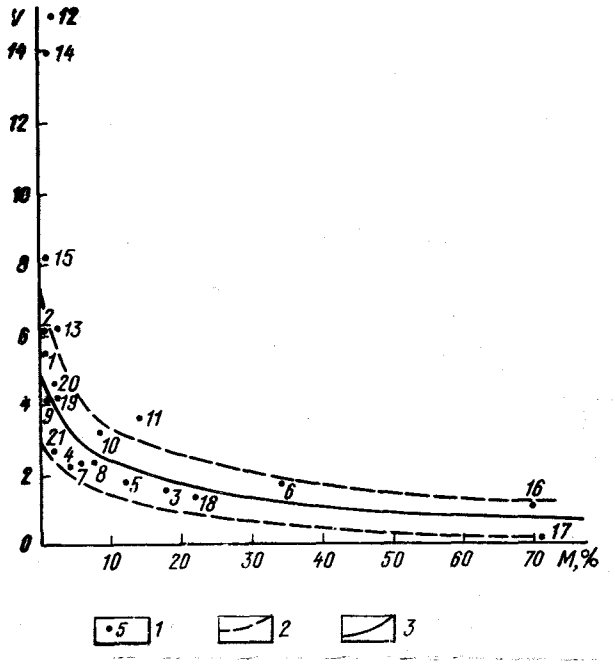


Рис. 1. Соотношение между коэффициентами вариации и математическими ожиданиями по минералогическим характеристикам

1 — порядковые номера минералогических характеристик в табл. 1 и 2; 2 — границы поля наиболее стабильных характеристик; 3 — кривая регрессии

Обособление местных минералов имеет принципиальное значение, так как, согласно существующим представлениям [1], максимальное скопление этих минералов должно фиксироваться в отложениях, знаменующих наступление очередного этапа оледенения. Таким образом, появление их аномальных содержаний можно трактовать как границу между разновозрастными комплексами отложений. По данным проведенного анализа главенствующая роль среди местных минералов принадлежит сульфидам (пириту), среднее содержание которых составляет около 15 %. Далее в порядке убывания располагаются глауконит (2,59 %), карбонаты (1,45 %), окислы и гидроокислы железа (0,73 %) и фосфаты (0,07 %). Местные минералы достаточно хорошо дифференцированы по принадлежности их к разнотипным коренным отложениям, обнажающимся в пределах Калининградской области. Так, карбонатные минералы связаны с карбонатными породами мелового возраста, пирит и глауконит обнаруживаются в отложениях мелового и палеогенового

возраста, фосфаты приурочены к палеогену, окисные соединения железа наиболее характерны для палеоген-неогеновых образований.

После обособления геологических тел по аномальным содержаниям местных минералов производится их стратификация, в основу которой положены ассоциации эрратических минералов, указывающих на характер материнских пород далекой питающей провинции.

Опыт рассмотрения вещественного состава четвертичных отложений показывает, что сам факт появления минеральных характеристик еще не является основанием для расчленения толщи, поскольку они обнаруживаются по всему разрезу. Поэтому использовалась статистическая оценка рассматриваемых параметров. По всей генеральной совокупности, включающей более 400 образцов, для каждой минералогической характеристики были рассчитаны значения математического ожидания M и среднее квадратическое отклонение σ (табл. 1). Допуская, что $M \pm 3\sigma$ отражает поле нормального распределения, характерное для случайных наблюдений, были выделены аномальные значения характеристик, пре-

Таблица 1

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение минералогических характеристик

Номер п.п.	Минералогическая характеристика	M, %	σ
1	Тяжелая подфракция	0,9	0,05
2	Турмалин	0,33	0,02
3	Циркон	10,84	0,18
4	Рутил + анатаз	4,11	0,09
5	Гранат	12,34	0,23
6	Рудные	34,53	0,62
7	Группа лейкоксена	5,48	0,13
8	Эпидот	7,39	0,18
9	Пироксен	0,98	0,04
10	Амфибол	8,60	0,28
11	Сульфиды (пирит)	14,47	0,53
12	Карбонаты	1,45	0,22
13	Глауконит	2,59	0,16
14	Фосфаты	0,07	0,01
15	Окислы железа	0,73	0,06
16	Нерастворимый остаток	70,00	1,00
17	Кварц	71,18	0,39
18	Полевой шпат	22,68	0,33
19	Слюды	2,59	0,11
20	$K_{ут}$	2,49	0,12
21	$K_{ул}$	2,64	0,07

вышающие трехсигмовый предел. Анализ аномальных значений соответствующих характеристик показал, что играет роль не только сам факт их появления, но и частота встречаемости в определенных частях разреза четвертичной толщи. С этих позиций все минералогические показатели следует подразделить на характерные (частота встречаемости более 75 %) и нехарактерные (менее 75 %). Но даже и в этом случае далеко не все характеристики являются информативными. Так, если тот или иной минералогический показатель одинаково характерен или одинаково нехарактерен для всех частей разреза, то он утрачивает свое значение при стратификации разреза, т. е. считается неинформативным. Таким образом, из всего набора минеральных характеристик информативными оказались только амфибол, эпидот, турмалин, слюда, полевой шпат, содержание тяжелой подфракции, коэффициент устойчивости легкой подфракции, циркон, рудные минералы. Первые семь показателей характерны для центральной части разреза, которая датируется как средний плейстоцен, а два последних — для нижнего и среднего плейстоцена.

Источником эрратических минералов могут быть и местные коренные породы, в основном неогенового и палеогенового возраста, принесенные сюда также из Скандинавии. Поэтому эрратические минералы могут выполнять еще одну роль: отражать характер коренных пород, подстилающих четвертичную толщу. Так, при подстилающих породах неогенового возраста, сложенных преимущественно кварцевыми песками, происходит уменьшение в породах примеси сульфидов, карбонатов, глауконита и фосфатов; оба коэффициента устойчивости при этом существенно возрастают; повышается содержание эрратических минералов — турмалина, группы лейкоксена. При подстилающих породах палеогенового возраста, сложенных терригенными породами с глауконитом и фосфоритовыми конкрециями, в породах четвертичного комплекса повышается содержание глауконита и фосфатов, уменьшается примесь сульфидов и карбонатов, возрастает содержание устойчивых минералов тяжелой подфракции. При подстилающих меловых отложениях возрастает содержание карбонатных и сульфидных минералов, сокращаются или вовсе исчезают фосфаты.

Стратификация, основанная на прослеживании по разрезу содержания отдельных минералов или их ассоциаций без учета фациальной принадлежности слоев, таит в себе весьма серьезные ошибки. Дело в том, что обогащенность пород теми или иными минералами определяется не только их возрастом, но и генезисом. Так, совершенно очевидно, что в водно-ледниковых отложениях относительно устойчивых минералов должно содержаться существенно больше, чем, скажем, в моренных образованиях. Поэтому возрастные изменения минерального состава отложений следует рассматривать на однотипных по происхождению породах.

Всего в отложениях ледникового комплекса четвертичных отложений может быть выделено пять типов*: гляциальный g, озерно-гляциальный lg, озерный l, флювиогляциальный fg и аллювиальный a. Согласно рекомендациям Е. В. Рухиной [1], эти генетические типы от-

---

* Выделенные типы привязаны к существующей терминологии в плане генетической интерпретации и достаточно условны.

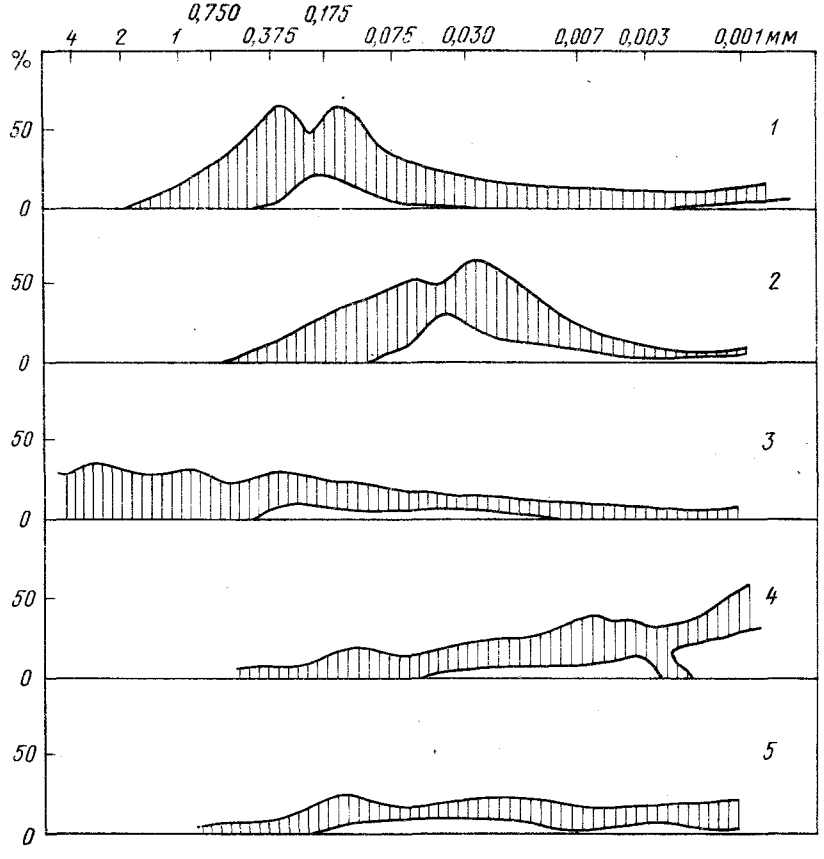


Рис. 2. Семейства кривых, характеризующих распределение гранулометрического состава по генетическим типам отложений
1 — аллювиальный; 2 — озерный; 3 — флювиогляциальный; 4 — озерно-гляциальный; 5 — гляциальный

ложений достаточно хорошо могут распознаваться по кривым распределения их гранулометрического состава (рис. 2). Конфигурация этих кривых зависит главным образом от преобладающего размера породообразующих зерен (медианный диаметр Md) и степени сортированности материала (коэффициент сортировки S_0). В свое время Л. Б. Рухин [2] предложил генетическую диаграмму, построенную с использованием именно этих двух структурных показателей терригенных отложений. Однако позднее эта диаграмма была подвергнута серьезной критике и переименована в динамическую [3]. Между тем сама идея генетической предопределенности гранулометрической структуры осадков верна, сложность заключается лишь в однозначности ее интерпретации, особенно когда речь идет об отложениях, сформировавшихся под действием только аэро- или гидродинамики. Когда же рассматриваются образования, связанные с гидро- и гляциодинамикой, вопрос о генетической интерпретации существенно упрощается. В самом деле, если гляциоди-

намика характеризуется мощной транспортирующей способностью, но полным отсутствием сортирующей способности, то гидродинамика, наоборот, обладает второй и в ограниченной степени первой. Поэтому кривые распределения в осадках, возникших в ледниковой и водной средах, будут не только существенно отличаться друг от друга, но и нести в себе генетическую информацию. Опираясь на эти рассуждения, авторы построили генетическую диаграмму по принципу, предложенному Л. Б. Рухиным [2], положив в основу 800 результатов гранулометрического анализа образцов из рассматриваемой толщи. Этой диаграммой (рис. 3) очень удобно пользоваться при установлении генезиса тех или иных слоев.

Весьма показательно распределение минералов по разногенетическим группам (табл. 2). Наибольшие различия в составе наблюдаются между гляциальными и аллювиальными образованиями. В аллювиальных отложениях по сравнению с гляциальными существенно возрастает содержание тяжелой фракции. а также присутствие таких минералов, как эпидот, пироксен, карбонаты, глауконит, окисные соединения железа и кварц.

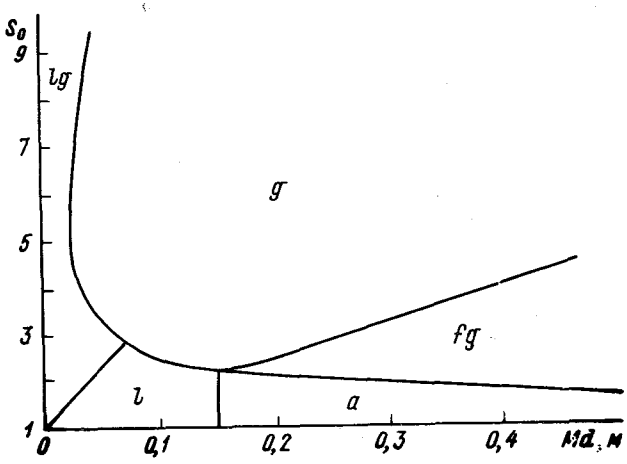


Рис. 3. Генетическая диаграмма

Между этими генетическими разновидностями пород располагаются все остальные в следующем порядке: гляциальные, озерно-гляциальные, озерные, флювиогляциальные, аллювиальные. Особенно близки минералогические характеристики гляциальных и озерно-гляциальных отложений, с одной стороны, и флювиогляциальных и аллювиальных — с другой.

Обращает на себя внимание, что не происходит четкой дифференциации коэффициентов устойчивости по генетическим группам осадков. Это указывает, по-видимому, на короткую транспортировку осадочного материала и на очень быстрое его захоронение, когда различие в соотношении устойчивых и неустойчивых минералов не успело еще выйти за пределы случайных значений характеристик. Поэтому выделяемые в данном случае генетические типы отложений достаточно условны, особенно аллювиальный тип.

Помимо перечисленных характеристик весьма информативными оказались содержания тонкодисперсного кварца, кальцита и крипточешуйчатой слюды, основная масса которых приурочена к среднеплейстоценовой части разреза.

Аномальные содержания и информативность элементов устанавливались так же, как и морфологических характеристик. Из 15 элементов

Таблица 2

Средние значения минералогических характеристик по генетическим типам отложений

Номер п.п.	Минералогическая характеристика	Содержание по генетическим типам отложений, %				
		гляциальный	озерно-гляциальный	озерный	флювио-гляциальный	аллювиальный
1	Тяжелая подфракция	0,61	0,53	1,10	1,23	1,72
2	Турмалин	0,30	0,52	0,32	0,44	0,39
3	Циркон	11,05	10,79	11,95	9,00	10,27
4	Рутил + анатаз	4,34	4,55	3,92	3,07	3,52
5	Гранат	13,13	12,43	11,75	11,19	11,95
6	Рудные	32,81	32,41	35,85	36,22	35,84
7	Группа лейкоксена	5,63	6,40	5,77	4,11	4,86
8	Эпидот	6,72	7,44	7,21	7,70	8,92
9	Пироксен	0,80	0,83	0,90	1,66	1,13
10	Амфибол	7,96	8,90	7,52	11,31	9,33
11	Сульфиды	16,47	13,22	11,87	13,88	12,75
12	Карбонаты	1,46	1,27	1,01	0,96	2,70
13	Глауконит	2,57	2,05	1,23	2,29	4,13
14	Фосфаты	0,05	0,11	0,04	0,08	0,08
15	Окислы железа	0,45	0,82	0,58	1,37	1,00
16	Нерастворимый остаток	70,00	61,00	72,00	79,00	72,00
17	Кварц	72,38	72,30	69,53	68,80	72,78
18	Полевые шпаты	22,89	21,75	25,15	24,68	21,05
19	Слюды	2,66	3,60	2,57	2,39	1,83
20	$K_{уг}$	2,27	2,53	3,41	2,07	2,63
21	$K_{ул}$	2,74	2,83	2,72	2,37	2,94

информативными оказались только цинк, медь, никель, свинец, олово, ванадий и марганец. Среднеплейстоценовой части разреза свойственны повышенные содержания цинка, меди, никеля и олова; свинец тяготеет к низам толщи; ванадий характерен для среднего и верхнего плейстоцена; марганец — для среднего и нижнего плейстоцена.

Элементарный состав отложений не только дифференцирован по разрезу всей толщи, но так же, как и минералы, указывает на подстилающие коренные породы. В случае, когда подстилающими являются породы неогенового возраста, в приподошвенной части четвертичного комплекса возрастает содержание титана, цинка, меди, никеля, молибдена, ванадия, хрома, кобальта и олова; когда породы палеогенового возраста, — ассоциация элементов в целом та же, по при этом исчезают медь и титан, зато появляются свинец, мышьяк. При подстилающих

меловых отложениях количество элементов, достигающих аномальных содержаний, сокращается до трех (молибден, ванадий и олово).

Ввиду того что в разрезе четвертичных отложений Калининградской области псефитовые образования встречаются эпизодически, значение петрографического анализа для целей стратификации менее существенно по сравнению с результатами минералогического и спектрального анализов. Тем не менее весьма показательны некоторые характеристики грубообломочных отложений, свидетельствующие о том, что среднеплейстоценовый этап формирования четвертичной толщи отличался более высокими динамическими показателями. Так, здесь фиксируются более крупные обломки (от 6,5 до 23,7 мм), большая доля галечного материала из местных пород (от 28 до 86%), более высокие значения коэффициентов окатанности (35—87) и сортированности (1,26—1,75).

Проведенное комплексное изучение вещественного состава четвертичных отложений Калининградской области позволило достаточно четко выделить в них одновозрастные геологические тела и проследить в их пределах изменение вещественных характеристик. Кроме того, применение новых стратиграфических критериев дало возможность оценить достоверность рубежей, намеченных в предшествовавших исследованиях. Наибольшее соответствие с вещественными границами проявляют границы, установленные коллективом геологов, работавших под руководством М. П. Жаркова. Их датировки основаны на большом объеме микропалеонтологических анализов. Последующие датировки в значительной степени произвольны, что создает впечатление об излишней сложности строения толщи и вносит серьезные затруднения при корреляции отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рухина Е. В. Литология ледниковых отложений. Л., Недра, 1973, 175 с.
2. Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., Недра, 1969, 703 с.
3. Шванов В. Н. Песчаные породы и методы их изучения. Л., Недра, 1969, 246 с.