

УДК 552.21(470.22)

Изменение физических свойств пород Баренцевоморского региона и его окраин в зависимости от возраста

В.А. Тюремнов

Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, кафедра геоэкологии

Аннотация. Анализ и систематизация материалов по петрофизическим характеристикам осадочных пород фанерозойского и палеозойского возраста позволили установить общие закономерности в их формировании под влиянием геодинамических процессов и метаморфизма.

Abstract. The analysis and systematization data of the petrophysics characteristics of phanerozoic and paleoproterozoic rocks have permitted to establish general regularities in their formation in response to geodynamic and metamorphism processes.

Ключевые слова: петрофизические характеристики фанерозойских и палеозойских пород; геодинамические и метаморфические процессы; Баренцевоморский регион; Кольский полуостров

Key words: petrophysics characteristics of phanerozoic and paleoproterozoic rocks; geodynamic and metamorphism processes; Barents sea region; Kola Peninsula

1. Введение

Последовательность образования пород и структурно-тектоническая эволюция различных сегментов земной коры отражают некий суммарный эффект от результатов изменяющихся во времени и на площади различных тектонических режимов и геодинамических обстановок. Геофизические поля характеризуют современное состояние земной коры и ее геодинамических элементов в момент наблюдения и отражают эволюцию развития вещества. Однако петрофизические характеристики и их изменчивость в пространственно-временных координатах конкретных структурно-вещественных комплексов открывают возможность для глубокого исследования геологической истории отдельных объектов литосферы. Поэтому осадочные оболочки океанов и континентов являются наиболее интересным объектом для изучения процессов эндо- и экзогенеза и связанных с ними изменений физического состояния и свойств вещества.

Идея сходства терригенных пород раннего докембрия с соответствующими образованиями фанерозоя, последовательно развиваемая академиком А.В. Сидоренко, позволяет сопоставить их петрофизические характеристики и проследить закономерности их изменения в процессе геологического развития территорий и эволюции вещества.

2. Петрофизическая характеристика осадочных пород бассейнов фанерозоя континентальной и островной части севера Евразии

Вдоль всего побережья севера Евразии протягивается полоса районов, испытавших современное воздымание. К ним относятся Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и т.д., где реализуется обстановка сжатия с образованием вторичных зон спрединга в окраинных морях. Островная часть Баренцевоморского региона (БМР) и Шпицбергенская зона разломов является областью сочленения двух глобальных геодинамических систем: Северо-Атлантической и Арктической.

Седиментогенез Баренцевоморской шельфовой платформы проходил на этапе пермско-триасовой крупномасштабной перестройки литосферы Земли с разнонаправленными тенденциями ее развития и на фоне дробления и блокового разобщения континентальной коры (рис. 1) под воздействием двух взаимно перпендикулярных, раскрывающихся спрединговых геоструктур океана – хребтов Книповича и Гаккеля (*Шутилов, Тарасов, 1998; Шутилов и др., 2006*).

Эти процессы определили ряд особенностей формирования осадочного чехла и тектоно-геодинамической обстановки (пликативные и дизъюнктивные дислокации), существовавших в период развития региона. Отмечаемая цикличность тектонической активности, когда режим сжатия на континентальных окраинах заметно ослабевал, приводила к динамометаморфизму, т.е. к изменению физического состояния пород и их физических свойств.

Петрофизические данные по скважинам островной части Баренцевоморского региона (БМР), континентальной части Балтийского щита и Тимано-Печорской провинции (ТПП) позволили проследить изменения физических свойств осадочных пород в пространственно-временных координатах. Были

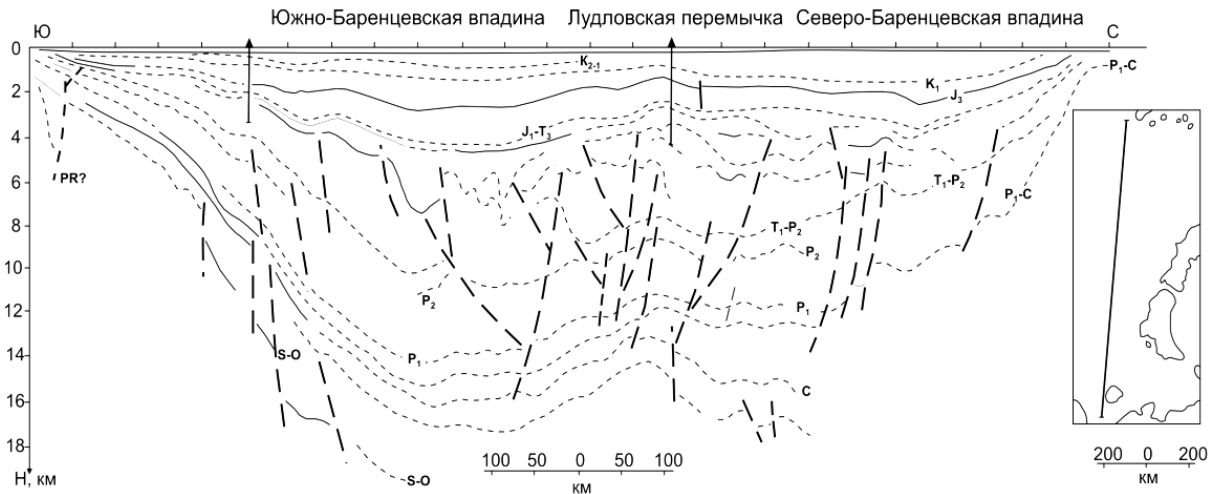


Рис. 1. Субмеридиональный сейсмогеологический разрез вдоль Восточно-Баренцевского мегабассейна по профилю о. Колгуев – архипелаг Земля Франца-Иосифа с элементами дизъюнктивной тектоники (Шутилов, Тарасов, 1998)

отмечены закономерности формирования пород карбонатного и терригенного состава, не только с их возрастом, но и с глубиной залегания (рис. 2), т.е. со степенью уплотнения пород и необратимых деформаций. Имеющиеся экспериментальные данные о необратимой сжимаемости осадочных пород и закономерности изменения пористости островных и континентальных осадков позволяют количественно оценить геодинамические параметры в виде давления (Добрынин, 1965; Тюремнов, 1971).

Установленные взаимосвязи физических свойств пород, в частности, пористости с плотностью и скоростью распространения упругих волн, в общем, носят типичный характер, свойственный осадочным образованиям, и определяются их гранулометрическим составом и глинистостью и карбонатностью пород. Различие в геодинамических обстановках формирования осадков привело к тому, что пористость пород островной части БМР значительно меньше пористости аналогичных пород ТПП. Таким же примером могут быть петрофизические характеристики венд-рифейского возраста полуострова Канин и полуостровов Рыбачий и Средний (табл. 1). Различие физических свойств этих пород объясняется их формированием в различных геодинамических обстановках.

Таблица 1. Коллекторские свойства рифейских образований

порода	σ , г/см ³	n, %	Vp, км/с	Vs, км/с
Полуостров Канин				
известняк	2.41	12.30	4.20	2.55
песчаник	2.33	16.60	3.21	1.93
аргеллит	2.27	15.10	2.88	1.91
сланец	2.73	0.60	3.88	2.01
кварцит	2.72	1.30	4.46	2.74
Кольский полуостров				
песчаник	2.67	1.70	5.50	3.40
аргеллит	2.73	1.47	5.67	3.33
гравеллит	2.68	4.65	5.25	3.46
алевролит	2.71	0.95	5.57	3.36

Для различных структур эти закономерности могут проявляться по-разному, но надежно выделяются несколько реперных физических границ. В первую очередь к ним относится региональная граница, разделяющая платформенный осадочный чехол и кристаллическое основание, а также намечается ряд локальных границ, таких как: юра-триас, триас-пермь, карбон-девон. Надежная граница установлена по кровле карбонатов ассель-сакмарского возраста перми, с которой связан опорный горизонт, выделяемый на территории Тимано-Печорской провинции. Намеченные физические границы приурочены, в основном, или к границам раздела между циклитами, или же к стратиграфическим подразделениям, подчеркнутыми размывами, или же к пачкам пород, резко отличающимся по литологии

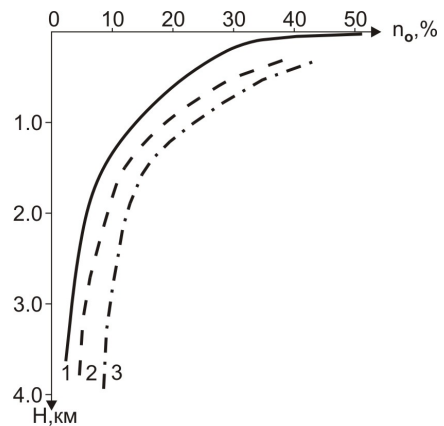


Рис. 2. Уплотнение пород Баренцевоморского шельфа с глубиной:

- 1 – глины, 2 – алевролиты,
- 3 – песчаники

от вмещающих пород. Однако однотипные породы, близкие по своему стратиграфическому положению, могут существенно отличаться по своим петрофизическим параметрам.

Петрофизическая граница триас-пермь соответствует герцинской складчатости в виде деформации осадочных толщ высокой степени катагенеза (например, Шпицберген). Мезо-палеозойские образования островной части Баренцевоморского региона по сравнению с породами континентальной окраины более уплотнены, имеют высокие скорости и меньшую пористость (рис. 3).

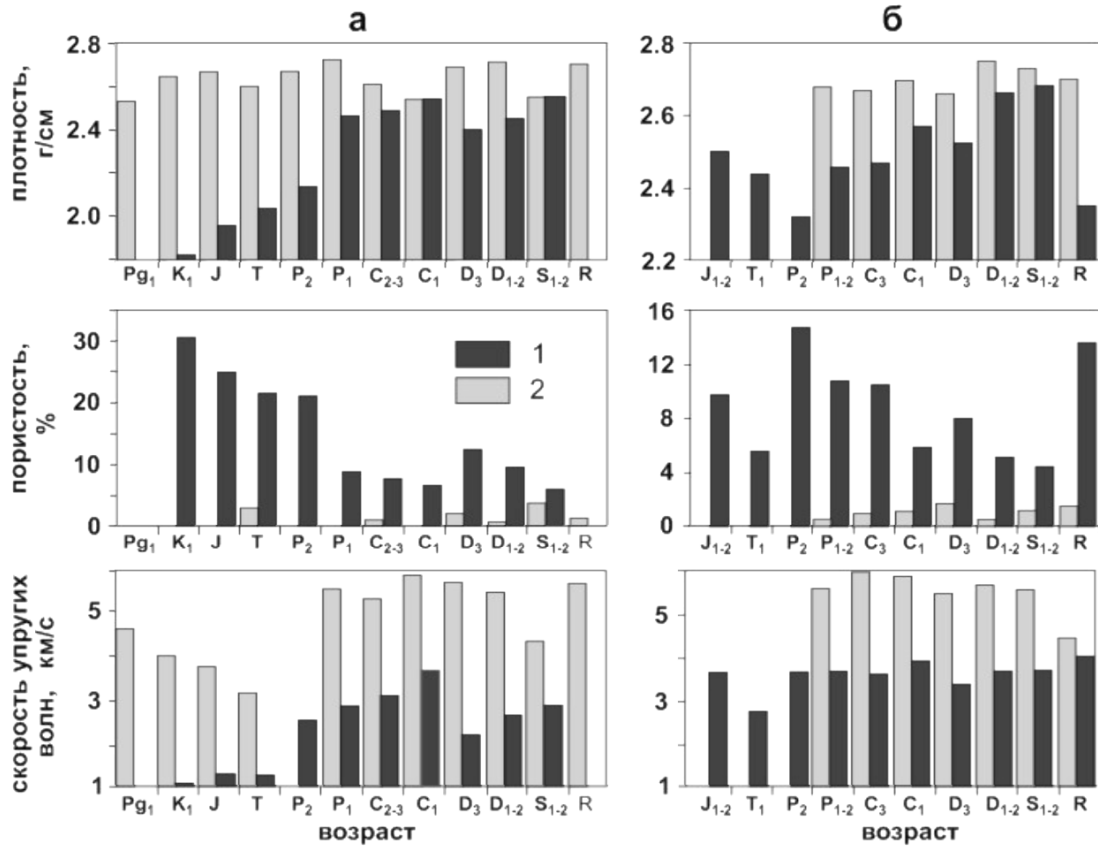


Рис. 3. Средние значения физических параметров терригенных (а) и карбонатных (б) пород континентального южного (1) и островного северного (2) обрамления Баренцевоморской окраины

Полученная петрофизическая модель не противоречит выделенным на временных разрезах сеймостратиграфическим комплексам, которые соответствуют карбонатно-терригенным отложениям кембрия-силура; терригенным отложениям девона-нижнего карбона; сульфатно-карбонатным отложениям среднего карбона-нижней перми; верхнепермским кремнисто-карбонатным слоям и терригенным отложениям мезозоя.

В рифейско-вендском комплексе, по данным МОВ, прослеживается ряд отражающих горизонтов, возможно, связанных с макрослоистостью пород, что позволяет относить этот блок к категории палеоплитных или раннеплатформенных.

3. Петрофизические характеристики пород осадочных бассейнов докембрия Кольского полуострова

Докембрийская кора в пределах арктического сектора плиты включает осадочные структуры байкальской и более ранних орогений, которые можно изучать на примере седиментационных бассейнов северо-восточной части Балтийского щита.

Транспрессивные формации нижних уровней земной коры сформировались из глубокометаморфизованных пород с заметной структурно-метаморфической зональностью. Эти структуры как зоны разных фаций метаморфизма на Кольском полуострове представлены поясом Печенга-Имандра-Варзуга, подвижным поясом Колмозеро-Воронья и Кейвским метаосадочным поясом (рис. 4). Архейские породы последних интенсивно переработаны во время палеопротерозойской коллизии.

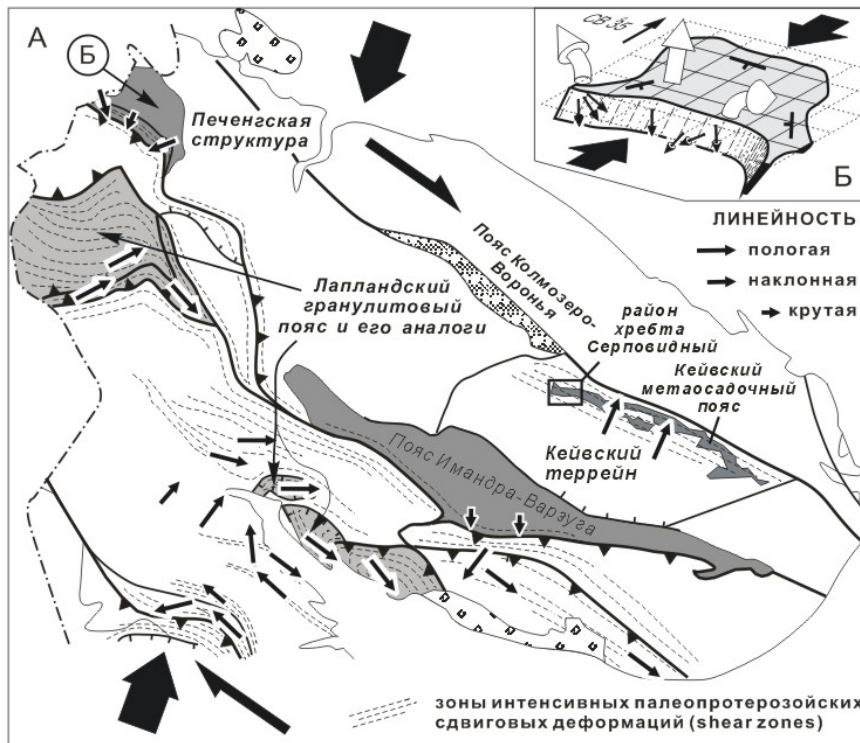


Рис. 4. Палеопротерозойские зоны интенсивных сдвиговых деформаций Кольского региона (Балаганский, Беляев, 2005). Жирные стрелки на А и Б – направление общего сжатия; асимметричные стрелки на А – правосторонний сдвиговый компонент общего сжатия (транспрессия); белые объемные стрелки на Б – локальные направления перемещения пород при сжатии

Выделение Кейеской и Колмозеро-Вороньинской зон в самостоятельные структурно-фациальные единицы обосновывалось неоднородностью их тектонических движений, запечатленных в мощностях и формационно-фациальных изменениях отложений в разные периоды орогенеза. Эти зоны рассматриваются или как синклиновые структуры, или как грабены супракрустальных пород, залегающие среди гранитоидов древнего фундамента. По многим структурным характеристикам раннепротерозойские отложения этих зон аналогичны структурным элементам фанерозойских геосинклинальных систем: Кейеская структура – срединному массиву ранней консолидации, а Колмозеро-Воронья – краевому прогибу. Петрофизические характеристики пород осадочных бассейнов отражают закономерности и специфику развития бассейнов обстановок древних кратонных областей.

Наиболее изученным объектом докембрийских образований является Печенгская структура. Она представлена породами четырех осадочно-вулканогенных циклов в Северной зоне и двух циклов в Южной зоне. Наиболее детально изучена ждановская толща, относящаяся к осадочно-вулканогенному пильгуйярвинскому циклу. Формирование этой свиты характеризуется разномасштабной ритмичностью турбидитного типа, т.е. соответствует глубоководным обстановкам осадконакопления.

Особенностью пород этой толщи является ее насыщенность сингенетическими сульфидами, а также высокая фосфатность, магнезиальность и конкреционность, которые свидетельствуют о связи осадконакопления с ультрабазитовым вулканогенным материалом. Это позволило разделить толщу осадков на нижнюю и верхнюю подсвиты со своими петрофизическими характеристиками. Формирование осадочно-вулканогенных пород Печенги в основном происходило в условиях зеленосланцевого метаморфизма. Различная степень его проявления и многообразие литотипов пород определили широкие пределы изменения петрофизических характеристик (рис. 5). На вариации последних значительное влияние оказали эпигенетические процессы, изученные в южной зоне Печенгской структуры и установленные по результатам сравнения параметров горных пород, отобранных по скважине СГ-3, и по образцам, отобранным с поверхности (рис. 6). Для Печенгско-Варзугского пояса установлена закономерная связь структурного развития, экзогенных и эндогенных процессов, выразившаяся в формировании осадочно-вулканогенных пород. В этой статье мы рассматриваем петрофизические характеристики пород, входящих в несколько свит, сгруппированных в три серии (рис. 7). Несмотря на некоторые различия в строении осадочно-вулканогенных толщ Печенги

Основным фактором, определяющим изменчивость физических свойств, является степень метаморфизма первично-осадочных образований, возрастающая в метаосадочных образованиях Кейвско-Лебяжинского структурно-вещественного ансамбля (Негруца, Негруца, 2007). Метаосадки Кейвской структуры представлены сланцами и гнейсами червуртской и выхчуртской свит.

Первичным материалом, за счет которого возникли кианитовые сланцы, послужили обогащенные Al_2O_3 и органическим веществом глинистые осадки каолинового типа архейского возраста. Кианитовые породы по химическому составу обнаруживают большое сходство с континентальными глинами влажного и жаркого климата и имеют черты заметного сходства с глинами всех типов и песками Русской платформы (Макиевский, 1973). Преобразование первоначального осадочного материала происходило в глубинных условиях метаморфизма, для которых характерны давление до 6 килобар и температуры 500-600°C.

В состав кианитовых руд входят следующие минералы: главные – кианит, кварц и второстепенные – мусковит, плагиоклаз, ставролит, графитоид, дикид, пирротин, пирит. Генетическая связь кианитовых пород с песчано-глинистыми осадками находит свое отражение в характере взаимосвязи физических свойств этих пород и в связи с вещественным составом (табл. 2), а также с составом и структурой мусковит-кварцевого цемента (Бельков, 1963; Тюремнов, Осипенко, 2007).

Образование кианитовых сланцев происходило в обстановке первого доорогенного регионального метаморфизма. Это нашло отражение в исключительном разнообразии главных морфогенетических типов кианита, связанных с различным временем его кристаллизации по отношению к дифференциальным движениям. Генезис кианита подтверждает большую роль стресса, как геологического фактора минералообразования, способствующего перекристаллизации пород путем их метаморфической (преимущественно метасоматической) дифференциации в условиях свободной циркуляции инфильтрационных и поровых растворов (Мирская, 1978).

Эти процессы определяют широкие пределы изменения физических свойств, отражающих текстурно-структурные особенности пород и полимодальные распределения параметров. Для пород, относящихся к кианитовой субфации амфиболитовой фации, также отмечается зональность физических свойств, которая определяется процессами гипергенеза и изменчивостью вещественного состава по глубине залегания (табл. 2).

Таблица 2. Изменение петрофизических характеристик по разрезу месторождения кианитовых сланцев

Зоны	Мощность, м	Количество определений	Кианит, %	Мусковит %	σ , г/см ³	K_p , %	V_p , км/с
I	15-20	32	57.2	37.2	3.0	1.59	5.55
II	20-50	138	50.6	40.4	3.01	0.89	5.86
III	>50	344	44.3	44.3	3.0	0.64	6.30

Примечание: K_p , % – пористость

На протяжении геологической истории зона Колмозеро-Воронья изменялась от краевого прогиба в раннем докембрии до структуры типа авлакогена и затем рифтовой впадины в карельском цикле геодинамического развития.

В архейской шовной зоне Колмозеро-Воронья выделяется нижняя толща гранат-биотитовых и биотитовых гнейсов – лязозерская свита. Для гнейсов и сланцев этой свиты характерно закономерное увеличение плотности вверх по разрезу (от 2.73 до 2.86 г/см³), пропорционально увеличению содержания калия, бора, хрома и уменьшению кальция, натрия. Существенное влияние на изменение петрофизических параметров оказывает интенсивность проявления наложенных метасоматических процессов, продукты которых представлены кварцевыми и амфиболовыми гранитами. Для гнейсов и сланцев воронье-тундровской свиты наблюдается в целом закономерное уменьшение вверх по разрезу значений плотности при переходе от амфиболовых, гранат-биотит-амфиболовых гнейсов и сланцев к биотитовым, гранат-биотитовым и мусковитовым гнейсам. Для пород вороньетундровской свиты значения плотности варьируются в пределах 2.73-2.93 г/см³ (для амфиболсодержащих пород) и 2.65-2.74 г/см³ (для биотитовых и мусковитовых гнейсов) (Белолитецкий, Ильин, 1980).

Гнейсы и сланцы червуртской свиты по вещественному составу и петрофизическим параметрам близки к литотипам лязозерской свиты. В нижней части разреза, представленного мусковитовыми и биотит-мусковитовыми кварцитами, средняя плотность не превышает 2.65 г/см³. Метаосадочные породы этой зоны практически немагнитны. В общем плане породы зоны Колмозеро-Воронья представлены сложно-дифференцированным полем петрофизических характеристик. Они отражают особенности пород структурно-формационных реликтов редуцированной и захороненной эвгеосинклинали в сочетании с фрагментами наложенного межгорного прогиба в зоне долгоживущего глубинного разлома.

4. Заключение

Анализ и систематизация материалов по изучению физических свойств докембрийских метасадочных образований Кольского полуострова позволили составить сводную схему петрофизических характеристик седиментационных бассейнов Кольско-Норвежско-Кейвского сегмента. Условия и обстановка палеоседиментационных процессов подтверждают геофизические выводы о строении земной коры в раннем докембрии. Характерной геофизической особенностью докембрийского седиментогенеза является инверсионная гравитационная модель Печенгской структуры; наличие двух волноводов в протерозойском разрезе, природа которых связана с вещественно-структурными ансамблями ждановской и лучломпольской свит. В восточной части Кольского полуострова (структура Кейв) по комплексным сейсмо-гравитационным материалам о строении земной коры отмечен фрагментарный типично континентальный разрез земной коры с активным проявлением деформаций, являющихся результатом субвертикальных (взбросовых) и пологих (надвиговых) движений, ориентированных субпараллельно простиранию структур сжатия (северо-восточная линейность) (рис. 1).

Проведенные петрофизические исследования и анализ имеющихся геолого-геофизических материалов позволяют установить связь физических параметров с литолого-фациальными особенностями геологической среды, особенностями тектоно-структурного строения и геодинамического развития северо-восточной части Балтийского щита и Баренцевоморского региона. Полученные материалы позволяют обосновывать определенные петрофизические критерии комплексной интерпретации геофизических и тектонофизических данных.

Литература

- Балаганский В.В., Беляев О.А.** Золотоносные сдвиговые зоны в раннем докембрии Кольского полуострова: прогноз и первые результаты. Петрография XXI века. Т. 3. Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита. *Материалы совещания. Апатиты, КНЦ РАН*, с.37-38, 2005.
- Белолипецкий А.П., Ильин Ю.И.** Петрофизические схемы метаморфического комплекса зоны Колмозеро-Воронья. (Кольский полуостров). В сб.: *Методика и результаты геофизических исследований северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты, Изд. КФАН СССР*, с.111-120, 1980.
- Бельков И.В.** Кианитовые сланцы Кейв. *М.-Л., Недра*, 321 с., 1963.
- Добрынин В.М.** Физические свойства нефтегазовых коллекторов в глубоких скважинах. *М., Недра*, 163 с., 1965.
- Макиевский С.И.** Геология метаморфических толщ северо-запада Кольского полуострова. *Л., Наука*, 152 с., 1973.
- Мирская Д.В.** Структура супракустальных комплексов Вороньинско-Кейвского района. В сб.: *Тектоника и глубинное строение северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты, КФАН СССР*, с.20-27, 1978.
- Негруца В.З., Негруца Т.Ф.** Литогенетические основы палеодинамических реконструкций нижнего докембрия восточной части Балтийского щита. *Апатиты, КНЦ РАН*, 281 с., 2007.
- Тюремнов В.А.** О необратимых изменениях физических свойств горных пород. Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. *Апатиты, КФАН СССР*, вып. 2, с.123-126, 1971.
- Тюремнов В.А., Осипенко Л.Г.** Зональность месторождений кианитовых пород и их физических свойств при нормальных и высоких термодинамических параметрах. *Материалы Международной конференции. Казань, Изд. Казанск. гос. ун-та*, т.2, с.237-241, 2007.
- Шипилов Э.В., Тарасов Г.А.** Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. *Апатиты, КНЦ РАН*, 306 с., 1998.
- Шипилов Э.В., Тюремнов В.А., Глазнев В.А., Голубев В.А.** Палеографические обстановки и тектонические деформации Баренцевоморской континентальной окраины в кайнозое. *ДАН*, т.407, № 3, с.411-416, 2006.