

Петрохимические особенности пограничных отложений нижнего—среднего карбона Западного Верхоянья

Г.В.ИВЕНСЕН, Р.В.КУТЫГИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г.Якутск, проспект Ленина, д.39)

Изучен впервые химический состав различных типов осадочных пород серджахской и имтанджинской свит нижнего—среднего карбона Западного Верхоянья (бассейн р.Чечим-Бал). Установлено наличие вулканогенного материала дацитового состава во всех типах пород. Применение петрохимических критериев позволило выявить среди вулканитов туфы и тефроиды.

Ключевые слова: каменноугольная система, серджахская и имтанджинская свиты, Западное Верхоянье, петрохимические модули, псаммитовый туф, стратиграфия.

Ивенсен Галина Владимировна, g.v.ivenсен@diamond.ysn.ru

Кутыгин Руслан Владимирович, kutygin@diamond.ysn.ru

Petrochemical features of the boundary deposits from the Lower—Middle Carboniferous of the Western Verkhoyansk Region

G.V.IVENSEN, R.V.KUTYGIN

Chemical composition of different types of the sedimentary rocks of Serdzhakhian Formation and Imtandzhian Formation from the Lower—Middle Carboniferous Western Verkhoyansk (Chechim-Bal River basin) is studied for the first time. Volcanogenic material of dacite composition is identified in all types of the rocks application of petrochemical criteria allowed the identification of tuffs and tephroids among volcanites.

Key words: Carboniferous, Serdzhakhian Formation, Imtandzhian Formation, Verkhoyansk Region, petrochemical module, psammitic tuff, stratigraphy.

Объектом исследования послужили отложения серджахской свиты нижнего карбона и нижнеимтанджинской подсвиты среднего карбона в разрезах по р.Чечим-Бал и руч.Снежный. Нижний карбон в Западном Верхоянье почти полностью скрыт от наблюдения более молодыми отложениями и только самые верхние слои, отнесенные к серджахской свите [8], обнажаются в верховьях р.Дянышки (р.Чечим-Бал) в своде Куранахского антиклинория (Кыгылтасская антиклиналь). Серджахская свита была выделена Ю.В.Сафоновым и В.С.Гриненко в 1978 г. в ходе геологической съемки масштаба 1:50 000. Поскольку нижняя часть свиты не вскрывается, полные объем и мощность этого стратона до сих пор не установлены. Однако, исходя из ритмичного трансгрессивно-регрессивного строения верхнепалеозойских подразделений верхоянского терригенного комплекса Западного Верхоянья [2], предполагается, что скрытый интервал серджахской свиты является ее регрессивной частью [1]. Палеонтологически свита ранее не была охарактеризована и ее возраст условно обосновывался литологическим сходством с былыкатской свитой в Орулганском антиклинории, содержащей обильную ископаемую флору, позволяющую относить вмещающие отложения к верхневизейскому подъярусу и серпуховскому ярусу нижнего карбона. Кроме того, во внимание принималась одновозрастность от-

ложений, перекрывающих серджахскую и былыкатскую свиты, и относимых к нижней части среднего карбона. В начале 2000-х годов стратотипический разрез серджахской свиты послойно изучался И.В.Будниковым, Р.В.Кутыгиным и Л.Г.Перегоедовым (рисунки 1 и 2). Тогда были получены новые данные по лито- и био-стратиграфии этого интервала по р.Чечим-Бал и его притокам (ручьи Снежный, Старый и Крутой). Серджахская свита сложена массивными песчаниками, чередующимися с пачками переслаивания разномасштабных алевролитов, которые вверх по разрезу постепенно становятся более грубозернистыми. В алевролитах серджахской свиты обнаружены двустворки *Wilkingia cf. regularis* (King), которые, по заключению А.С.Бякова, характеризуют визейский и серпуховский ярусы [4], что подтверждает мнение Ю.В.Сафонова и В.С.Гриненко о раннекаменноугольном возрасте свиты.

Вышезалегающая нижнеимтанджинская подсвита относительно широко распространена в сводах крупных антиклиналей Куранахской и Бараинской структурно-фациальных подзон Западного Верхоянья, в полном объеме вскрывается на руч.Снежный (обнажение 1и/04). Подсвита резко отличается от подстилающих пород преобладанием морских алевролитов. Нижняя часть подсвиты палеонтологически наиболее полно охарактеризована на руч.Крутой, где

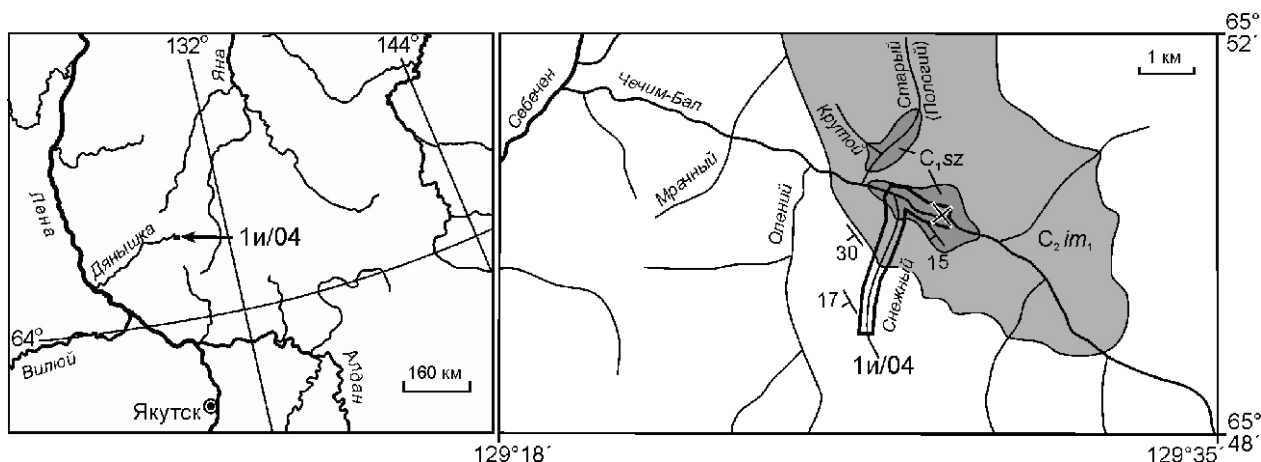
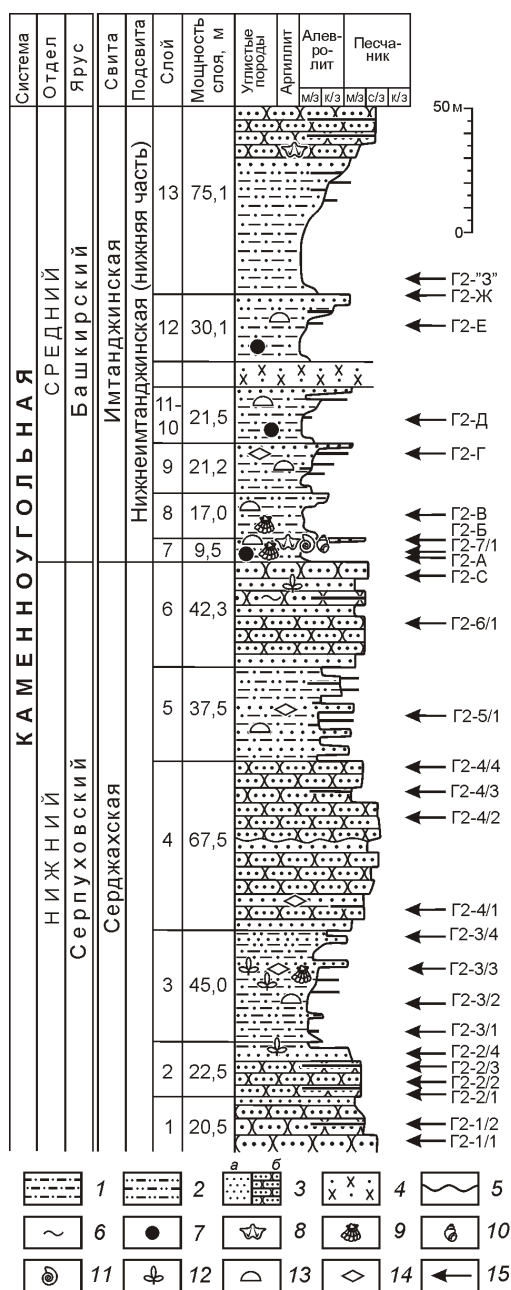


Рис. 1. Схема расположения разреза пограничных ниже-среднекаменноугольных отложений р.Чечим-Бал и руч.Снежный (обнажение 1и/04):

площади распространения: C_2im — имтанджинская свита, нижняя подсвита, C_1sz — серджахская свита



вскрываются пограничные слои серджахской и имтанджинской свит. Многочисленные беспозвоночные (брахиоподы, аммоноидеи, наутилоидеи, двусторки и гастроподы), собранные в нижнеимтанджинской подсвите, характерны для башкирского яруса среднего карбона.

Для выяснения петрохимических особенностей отложений изучались химические составы различных типов пород (табл. 1) и рассчитанные для них по определенной системе [9], модули (табл. 2):

гидролизатный
ГМ (Al_2O_3 TiO_2 Fe_2O_3 FeO MnO)/ SiO_2 ,
алюмокремневый АМ Al_2O_3/SiO_2 ,
фемический ФМ (Fe_2O_3 FeO MgO MnO)/ SiO_2 ,
титановый ТМ TiO_2/Al_2O_3 ,
натриевый НМ Na_2O/Al_2O_3 ,
калиевый КМ K_2O/Al_2O_3 ,
щелочной ЦМ Na_2O/K_2O ,
нормированной щелочности
НКМ (Na_2O K_2O)/ Al_2O_3 ,
железный ЖМ (Fe_2O_3 FeO MnO)/(Al_2O_3 TiO_2).

Рис. 2. Разрез пограничных ниже-среднекаменноугольных отложений р.Чечим-Бал и руч.Снежный (обнажение 1и/04). Составители И.В.Будников, Р.В.Кутыгин, Л.Г.Перегаев (2004):

1 — алевролит; 2 — алевропесчаник; 3 — песчаник; а — слоистый, б — массивный; 4 — диорит-порфирит; 5 — граница внутриформационного перемыва; 6 — линзочки тонкозернистых пород; 7 — стяжения сульфидов; 8 — брахиоподы; 9 — двусторки; 10 — гастроподы; 11 — аммоноидеи; 12 — растительные остатки; 13 — следы деятельности илоедов; 14 — песчаные знаки ряби; 15 — места отбора и номера проб

1. Химический состав ниже-среднекаменноугольных пород р.Чечим-Бал и руч.Снежный (в %)

Возраст	Образец	Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	П.П.П.	S	Сумма
C ₂ im ₁	Г2-Б	Псаммит мелко- и среднезернистый	66,12	0,35	14,26	2,06	3,87	0,05	1,95	0,84	5,53	2,01	0,21	0,27	2,14		99,66
C ₁ sz	Г2-С		72,15	0,39	14,22	0,81	0,99	0,05	0,83	1,38	5,37	2,22	0,02	0,61	1,17	0,02	100,23
C ₁ sz	Г2-2/2		71,16	0,35	11,99	0,21	3,10	0,00	1,03	1,80	4,33	2,72	0,27	1,29	1,87		100,12
C ₁ sz	Г2-1/2		65,64	0,51	13,43	0,05	5,00	0,05	1,52	2,46	4,98	2,60	0,29	1,82	2,18		100,53
C ₁ sz	Г2-4/4		66,45	0,50	12,97	1,27	4,16	0,07	1,60	2,57	4,50	1,96	0,25	1,25	2,73		100,28
C ₁ sz	Г2-2/4		66,61	0,59	15,09	0,06	3,16	0,05	0,23	2,99	3,43	4,26	0,32	1,06	2,45		100,30
C ₁ sz	Г2-1/1		66,62	0,46	11,57	0,00	7,69	0,04	0,66	2,51	5,10	2,18	0,29	1,64	1,73		100,49
C ₁ sz	Г2-4/2		67,17	0,72	12,95	1,05	4,42	0,06	1,26	2,27	4,83	2,10	0,37	0,81	2,49		100,50
C ₁ sz	Г2-6/1	Алевролит крупно-зернистый	65,06	0,70	12,55	1,39	5,67	0,08	2,06	2,04	4,15	1,83	0,30	1,27	2,76		99,86
	n 9		67,44	0,51	13,23	0,77	4,23	0,05	1,24	2,10	4,69	2,43	0,26	1,11	2,17		100,22
C ₁ sz	Г2-2/3		63,84	0,50	13,56	1,66	3,73	0,08	1,68	2,76	3,56	3,36	0,30	1,58	2,76		99,37
C ₁ sz	Г2-2/1		65,94	0,57	15,23	0,37	4,51	0,00	1,68	1,08	3,76	3,97	0,32	0,27	2,55		100,25
C ₁ sz	Г2-4/1	Алевролит мелкозернистый	65,64	0,51	13,40	1,25	3,08	0,06	1,43	3,11	3,97	2,90	0,37	1,28	2,75		99,75
C ₂ im ₁	Г2-Ж		63,48	0,52	13,15	1,50	4,79	0,04	2,60	3,72	3,48	1,73	0,16	2,20	2,49	0,06	99,92
C ₂ im ₁	Г2-«3»		57,72	0,50	10,43	1,13	2,41	0,17	1,09	12,06	3,34	1,24	0,16	8,10	1,80	0,16	100,31
	n 5		63,32	0,52	13,15	1,18	3,70	0,07	1,70	4,55	3,62	2,64	0,26	2,69	2,47		99,88
C ₂ im ₁	Г2-Д	Алевролит мелкозернистый	61,23	0,68	16,84	2,02	4,43	0,05	3,32	1,20	2,17	3,50	0,16	0,41	4,02	0,03	100,06
C ₁ sz	Г2-3/3		68,54	0,58	13,41	0,64	3,84	0,00	1,76	0,96	3,27	3,33	0,40	0,26	2,55		99,54
C ₂ im ₁	Г2-В		60,93	0,95	16,83	2,19	3,82	0,04	2,61	0,48	1,33	4,81	0,30	0,27	5,43		99,99
	n 3		63,57	0,74	15,69	1,62	4,03	0,03	2,56	0,88	2,26	3,88	0,29	0,31	4,00		99,85
C ₁ sz	Г2-3/1	Алевропелит	56,17	0,68	16,56	1,39	7,51	0,07	3,50	1,93	2,18	4,18	0,44	0,53	5,25		100,39
C ₁ sz	Г2-3/4		59,74	0,80	16,81	1,72	4,68	0,05	2,68	0,78	2,56	4,13	0,37	0,26	4,76		99,34
C ₁ sz	Г2-3/2		59,30	0,83	17,27	1,65	5,17	0,05	3,21	0,78	2,29	4,23	0,40	0,26	4,77		100,21
	n 3		58,40	0,77	16,88	1,59	5,79	0,06	3,13	1,16	2,34	4,18	0,40	0,35	4,93		99,98
C ₂ im ₁	Г2-Г	Тонко переслаивающиеся разнозернистые алевролиты	54,92	0,53	13,04	1,23	3,36	0,13	1,78	8,88	2,94	3,31	0,27	6,55	3,52		100,46
C ₂ im ₁	Г2-Е		63,82	0,64	15,25	2,72	2,83	0,06	2,41	2,58	2,13	3,36	0,16	0,83	3,51	0,09	100,39
C ₂ im ₁	Г2-7/1		62,43	0,82	17,70	1,88	2,30	0,00	1,69	0,54	2,04	5,37	0,30	0,55	4,07		99,69
C ₁ sz	Г2-4/3		60,13	0,93	18,07	1,38	4,44	0,04	2,34	0,72	1,56	4,89	0,32	0,27	5,29		100,38
C ₁ sz	Г2-5/1		58,52	1,22	18,58	2,15	2,80	0,04	1,79	0,84	1,97	5,29	0,32	0,26	6,22		100,00
	n 5		59,96	0,83	16,53	1,87	3,15	0,05	2,00	2,71	2,13	4,44	0,27	1,69	4,52		100,17

В таблицах 1 и 2 образцы петрохимически диагностируемые как туфы.

2. Петрохимические модули ниже-среднекаменноугольных пород р.Чечим-Бал и руч.Снежный

Возраст	Образец	Порода	ГМ	АМ	ФМ	ТМ	НМ	КМ	ЩМ	НКМ	ЖМ	Na ₂ O K ₂ O, %
C ₂ im ₁	Г2-Б	Псаммит мелко- и среднезернистый	0,31	0,22	0,12	0,025	0,39	0,14	2,75	0,53	0,41	7,54
C ₁ sz	Г2-С		0,23	0,20	0,04	0,027	0,38	0,16	2,42	0,53	0,13	7,59
C ₁ sz	Г2-2/2		0,22	0,17	0,06	0,029	0,36	0,23	1,59	0,59	0,27	7,05
C ₁ sz	Г2-1/2		0,29	0,20	0,10	0,038	0,37	0,19	1,92	0,56	0,37	7,58
C ₁ sz	Г2-4/4		0,29	0,20	0,11	0,039	0,35	0,15	2,30	0,50	0,41	6,46
C ₁ sz	Г2-2/4		0,28	0,23	0,05	0,039	0,23	0,28	0,81	0,51	0,21	7,69
C ₁ sz	Г2-1/1		0,30	0,17	0,13	0,040	0,44	0,19	2,34	0,63	0,64	7,28
C ₁ sz	Г2-4/2		0,29	0,19	0,10	0,056	0,37	0,16	2,30	0,54	0,40	6,93
C ₁ sz	Г2-6/1		0,31	0,19	0,14	0,056	0,33	0,15	2,27	0,48	0,54	5,98
	n 9		0,28	0,20	0,09	0,038	0,35	0,18	1,93	0,54	0,37	7,12
C ₁ sz	Г2-2/3	Алевролит крупнозернистый	0,31	0,21	0,11	0,037	0,26	0,25	1,06	0,51	0,39	6,92
C ₁ sz	Г2-2/1		0,31	0,23	0,10	0,037	0,25	0,26	0,95	0,51	0,31	7,73
C ₁ sz	Г2-4/1		0,28	0,20	0,09	0,038	0,30	0,22	1,37	0,51	0,32	6,87
C ₂ im ₁	Г2-Ж		0,32	0,21	0,14	0,040	0,26	0,13	2,01	0,40	0,46	5,21
C ₂ im ₁	Г2-«3»		0,25	0,18	0,08	0,048	0,32	0,12	2,69	0,44	0,34	4,58
	n 5		0,29	0,21	0,11	0,040	0,28	0,20	1,37	0,48	0,36	6,26
C ₂ im ₁	Г2-Д	Алевролит мелкозернистый	0,39	0,28	0,16	0,040	0,13	0,21	0,62	0,34	0,37	5,67
C ₁ sz	Г2-3/3		0,27	0,20	0,09	0,043	0,24	0,25	0,98	0,49	0,32	6,60
C ₂ im ₁	Г2-В		0,39	0,28	0,14	0,056	0,08	0,29	0,28	0,36	0,34	6,14
	n 3		0,35	0,25	0,13	0,047	0,14	0,25	0,58	0,39	0,35	6,14
C ₁ sz	Г2-3/1	Алевропелит	0,47	0,29	0,22	0,041	0,13	0,25	0,52	0,38	0,52	6,36
C ₁ sz	Г2-3/4		0,40	0,28	0,15	0,048	0,15	0,25	0,62	0,40	0,37	6,69
C ₁ sz	Г2-3/2		0,42	0,29	0,17	0,048	0,13	0,24	0,54	0,38	0,38	6,52
	n 3		0,43	0,29	0,18	0,046	0,14	0,25	0,56	0,39	0,42	6,52
C ₂ im ₁	Г2-Г	Тонко переслаивающиеся раз- нозернистые алевролиты	0,33	0,24	0,12	0,041	0,23	0,25	0,89	0,48	0,35	6,25
C ₂ im ₁	Г2-Е		0,34	0,24	0,13	0,042	0,14	0,22	0,63	0,36	0,35	5,49
C ₂ im ₁	Г2-7/1		0,36	0,28	0,09	0,046	0,12	0,30	0,38	0,42	0,23	7,41
C ₁ sz	Г2-4/3		0,41	0,30	0,14	0,051	0,09	0,27	0,32	0,36	0,31	6,45
C ₁ sz	Г2-5/1		0,42	0,32	0,12	0,066	0,11	0,28	0,37	0,39	0,25	7,26
	n 5		0,37	0,28	0,12	0,050	0,13	0,27	0,48	0,40	0,29	6,57

При сравнительном анализе использовались средние химические составы дацитов [7] и песчаников [5].

Все изученные породы были разделены на несколько групп (см. табл. 2). В отдельную группу включены образования, представленные тонким переслаиванием мелко- и крупнозернистых алевролитов. И хотя каждая группа пород обладает только ей присущими петрохимическими особенностями, общим для всех является высокое содержание щелочей и относительно низкое железа, титана и магния, что не характерно для нормальных осадочных пород. Различия между химическими составами средне- и нижнекаменноугольных пород не выявлены.

Псаммиты выделяются самым высоким содержанием SiO_2 (среднее 67,44%) и щелочей (среднее 7,12%). В сумме последних преобладает Na_2O (среднее значение ЩМ 1,93). По значениям ГМ они почти все являются силитами. Значения ТМ изменяются в широких пределах от 0,025 до 0,056. По совокупности признаков среди псаммитов выделены туфы и тефроиды. К туфам относятся три образца (Г2-Б, Г2-С, Г2-2/2), у которых самые низкие значения ТМ. Обломочный материал туфов не окатан и не отсортирован (рис. 3). Их формирование, вероятно, происходило в относительно спокойных гидродинамических условиях в результате непосредственного осаждения пирокластического материала в морской среде. Все остальные образцы псаммитов

авторы отнесли к тефроидам. У них выше значения ТМ при высоком содержании щелочей. Тефроиды состоят из того же пирокластического материала, что и туфы, но подвергнувшегося незначительной обработке в подвижной гидродинамической среде, в результате чего произошла частичная потеря легкоподвижных элементов и накопление устойчивых (титан, железо), что подтверждается более высокими значениями ТМ и ЖМ. На модульной диаграмме в координатах ГМ—НКМ точки химических составов псаммитов располагаются в непосредственной близости от точки среднего химического состава дацитов [7] (рис. 4). Наблюдаемый некоторый разброс точек обусловлен постседиментационными процессами, в основном альбитизацией (ЩМ 1), что также характерно для вулканитов. В образце Г2-2/4 отмечается процесс адуляризации, вызвавший увеличение содержания K_2O (КМ 0,28) и Al_2O_3 (АМ 0,23). Изученные псаммиты по химическому составу резко отличаются и от аркозов, и от среднего песчаника. В обломочной части аркозов присутствует большое количество калиевых полевых шпатов, поэтому высоки значения КМ 0,32 при НМ 0,17 и ЩМ 0,54, а сумма щелочей составляет 4,3% [5], а в среднем песчанике по Ф.Кларку [5] щелочей содержится всего 1,77% при преобладании K_2O (НМ 0,09, КМ 0,28, ЩМ 0,34), что является результатом длительного переноса обломочного материала.

Алевролиты крупнозернистые, по химическому составу близки к псаммитам, но в них щелочей содержится меньше (в среднем 6,26%) и, хотя в сумме щелочей преобладает Na_2O , значения ЩМ 1,37 в среднем ниже, чем в псаммитах. Кроме того, они содержат меньше SiO_2 и больше MgO . Значения ТМ невысоки, в среднем 0,04. На модульной диаграмме в координатах ГМ—НКМ точки их химических составов располагаются в непосредственной близости от точки среднего химического состава дацитов. Для крупнозернистых алевролитов также характерен процесс альбитизации, но в меньшей степени, чем для псаммитов. Все эти особенности позволяют крупнозернистые алевролиты считать тефроидами.

Мелкозернистые алевролиты щелочей содержат много (среднее значение 6,14%), но меньше, чем в псаммитах и крупнозернистых алевролитах, и в сумме щелочей преобладает K_2O (ЩМ 1). В их химическом составе несколько повышены содержания TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO и MgO . Высокое содержание щелочей свидетельствует о том, что обломочный материал не подвергался выветриванию и длительному переносу.

Алевропелиты характеризуются самым низким содержанием SiO_2 и самым высоким — Al_2O_3 , FeO и MgO . Щелочей содержится много (6%), но в сумме преобладает K_2O (ЩМ 1). Из трех образцов два содержат MgO 3%, т.е. являются псевдосилитами, а, по мнению Я.Э.Юдовича и М.П.Кетрис [9], среди нормальных осадочных пород таких составов не встречается. В большинстве случаев псевдосилиты

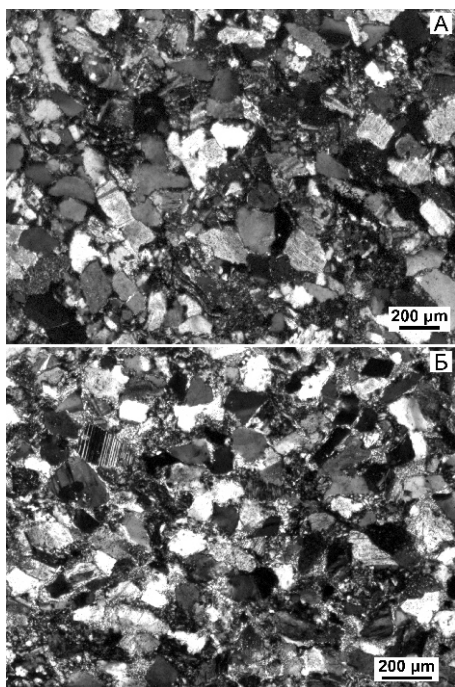


Рис. 3. Псаммитовые альбитизированные туфы с пирокластической дацитового состава (николи):

А — обр.Г2-Б, Западное Верхоянье, р.Чечим-Бал, руч.Снежный, средний карбон, основание имтанджинской свиты; Б — обр.Г2-С, там же, нижний карбон, верхняя часть сержахской свиты

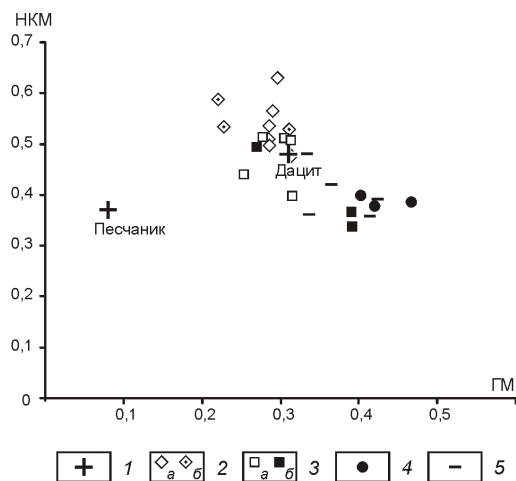


Рис. 4. Модульная диаграмма ГМ—НКМ для пограничных ниже-среднекаменноугольных пород Западного Верхоянья:

1 — точки средних химических составов дацитов [7] и песчаников по Ф.Кларку [5]; 2 — псаммитовые породы: а — тефроида, б — туфы; 3 — алевролиты: а — крупнозернистые, б — мелкозернистые; 4 — алевропелиты; 5 — породы тонкого переслаивания мелко- и крупнозернистых алевролитов

являются породами пирогенными. На модульной диаграмме точки химических составов алевропелитов попадают в единое корреляционное поле с псаммитами и алевролитами.

В образцах, представляющих собой тонкое переслаивание разномасштабных алевролитов, в сумме щелочей значительно преобладает K_2O (ЩМ 0,48), содержание SiO_2 ниже, чем в предыдущих группах, а TiO_2 и Al_2O_3 выше. На модульной диаграмме точки их химических составов располагаются между точками химических составов алевролитов и алевропелитов.

В результате изучения ниже-среднекаменноугольных отложений Западного Верхоянья были выявлены некоторые особенности химических составов, отличающие их от нормальных осадочных пород. Самое главное — это высокое содержание щелочей во всех типах пород. Причем в псаммитах и крупнозернистых алевролитах в сумме щелочей преобладает Na_2O , а в мелкозернистых алевролитах и алевропелитах — K_2O . Это связано главным образом с перераспределением щелочей при постседиментационных процессах. Как правило, Na_2O мигрирует из менее проницаемых пород в более пористые, поэтому в псаммитах и крупнозернистых алевролитах широко развит процесс альбитизации, что не наблюдается в мелкозернистых алевролитах и алевропелитах [3]. Высокое содержание щелочей свидетельствует о том, что обломочный материал не подвергался выветриванию и длительному переносу. Это же подтверждают и невысокие значения ТМ, причем значения этого модуля выше в алевропелитах, чем в псаммитах, что не характерно для нормальных осадочных пород. На отдельных стратиграфических уровнях

среди псаммитовых отложений присутствуют породы с очень низкими значениями ТМ. По комплексу признаков они отнесены к туфам дацитового состава, когда осаждение пирокластического материала происходило в морской среде при спокойном гидродинамическом режиме. Все остальные породы являются тефроидами, поскольку они, судя по более высоким значениям ТМ, сложены обломками, испытывавшими воздействие активной гидродинамической среды. Железа в образцах содержится относительно немного и в сумме преобладает FeO , а в нормальных осадочных породах железо присутствует преимущественно в трехвалентном состоянии.

Выявлена общая зависимость химического состава от размеров обломков пород, с уменьшением которых (псаммиты алевролиты крупнозернистые алевролиты мелкозернистые алевропелиты) происходит сокращение содержания кремнезема и увеличение MgO , K_2O , TiO_2 , Al_2O_3 .

Значения петрохимических модулей изученных образцов близки к петрохимическим модулям дацитов, особенно у псаммитов и крупнозернистых алевролитов. Все точки химических составов образцов на модульной диаграмме ГМ—НКМ попадают в единое корреляционное поле (см. рис. 4), что позволяет предполагать наличие пирокластического материала дацитового состава во всех типах пород, а закономерные изменения в химическом составе пород разных гранулометрических классов обусловлены дифференциацией пепла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Б.С., Григорьева А.Д. Биостратиграфия и брахиоподы среднего и верхнего карбона Верхоянья. — М.: Наука, 1983.
2. Будников И.В., Гриненко В.С., Клец А.Г. и др. Модель формирования верхнепалеозойских отложений востока Сибирской платформы и ее складчатого обрамления (закономерности осадконакопления, районирование, корреляция) // Отечественная геология. 2003. № 6. С. 86—92.
3. Ивсен Г.В., Кутыгин Р.В. Изменение химического состава пород как функция возраста // Концептуальные проблемы литологических исследований в России. Мат-лы 6-го Всероссийского литологического совещания. Т. 1. — Казань, 2011. С. 343—346.
4. Кутыгин Р.В. Нижний карбон Восточной Сибири и Верхоянья // Отечественная геология. 2009. № 5. С. 66—74.
5. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. — М.: Мир, 1976. Решения 3-го межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России / Под ред. Т.Н.Корень, Г.В.Котляр. — С-Пб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
6. Соловьев В.И. Меловой вулканизм Северо-Востока СССР. — Новосибирск: Наука, 1986.
7. Соломина Р.В. Каменноугольная система / Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист Q-52, 53, Верхоянск. — Л., 1984. С. 9—13.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. — С-Пб: Наука, 2000.