УДК 551.243(571.5)
© Д.А.Васильев, Г.В.Ивенсен, В.Б.Ершова, 2014

Литохимия среднеюрско-нижнемеловых терригенных пород северной части Приверхоянского прогиба

Д.А.ВАСИЛЬЕВ, Г.В.ИВЕНСЕН (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); В.Б.ЕРШОВА (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный университет; 199034, г.Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7/9)

Установлены литохимические особенности среднеюрско-нижемеловых отложений западного крыла северной части Приверхоянского прогиба (р.Лена, район пос.Жиганск), позволяющие предположить, что в процессе их накопления происходил привнос пирокластического материала кислого состава с вулканических дуг, располагавшихся вдоль восточной периферии Сибирского континента.

Ключевые слова: Приверхоянский краевой прогиб, литохимия, петрохимические модули, псаммиты, алевролиты, пелиты, осадочные породы.

Васильев Дмитрий Анатольевич, juorankhay@mail.ru
Ивенсен Галина Владимировна, g.v.ivensen@mail.ru
Ершова Виктория Бэртовна, v.ershova@spbu.ru

Lithochemistry middle Jurassic-lower Cretaceous terrigenous rocks of the Northern part Priverkhoyansk foreland basin (Zhigansky region Yakutia)

D.A.VASILIEV, G.V.IVENSEN, V.B.ERSHOVA

Installed lithochemistry features evaluation in middle Jurassic-lower Cretaceous deposits of the West limb of the Northern part Priverkhoyansk foreland basin (r.Lena, district p.Zhigansk), allows to assume their volcanogenic-sedimentary origin. Probably, in the process of accumulation middle Jurassic-early Cretaceous sediments Priverkhoyansk basin was associated with pyroclastic material acid composition of volcanic arcs, situated along the Eastern periphery of the Siberian continent.

Key words: Priverkhoyansk foreland basin, lithogeochemistry, petrochemical modulus, psammite, aleurolite, pelite, sedimentary rocks.

Район исследований прослежен узкой полосой вдоль р.Лена от пос.Жиганск до устья р.Кыстатыам (рис. 1). В тектоническом отношении район расположен на западном крыле северной части Приверхоянского прогиба, который отделяет Сибирскую платформу от Орулганского сегмента Западно-Верхоянского сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса [4]. Здесь обнажаются терригенные породы средней, верхней юры и нижнего мела (рис. 2) [2]. Авторы данной публикации опробовали отложения байос-батского яруса (средняя юра), джаскойской (средняя-верхняя юра), сытогинской (верхняя юра) и ынгырской (нижний мел) свит с целью установления их геохимической специализации. Байос-батские отложения (J_2bj-bt) детально изучены вдоль р.Лена на мысах Кыстатыам и Хоруонгка и представлены: внизу разреза — песками уплотненными, алевролитами и глинами с пластами песчаников и цепочками галек, в середине — алевролитами и глинами с подчиненными пластами, стяжениями и линзами песков, песчаников и известняков, вверху — песками уплотненными линзами и стяжениями песчаников. Джаскойская свита ($J_{2—3}dz$) обнажена по левому берегу р.Лена на мысе Джаской и в береговых обрывах р.Нуорда. Данная свита залегает на байос-батских отложениях местами с признаками перерыва в осадконакоплении [2]. Свита представлена песками косослоистыми, алевролитами и глинами с пластами углей и стяжениями песчаников. Сытогинская свита (J_3st) залегает на угленосных отложениях джаскойской свиты с крупным стратиграфическим перерывом [2]. Она прекрасно обнажена на левом берегу р.Лена между мысами Джаской и Чоноко, на мысу Порог и у пос.Жиганск. Свита сложена песками уплотненными со стяжениями песчаников, алевролиты, в основании — зеленые пески и галечники. Ынгырская свита (K_1yn) обнажена в береговых обрывах р.Лена, на мысах Чоноко, Порог и Мавра. Ее разрозненные выходы имеются по р.Нуорда и др. С нижележащими отложениями свита связана постепенным переходом; лишь на отдельных участках на границе слабо улавливаются внутриформационные размывы. Подошва свиты условно проводится по нижнему пласту угля. В целом ынгырская свита представлена переслаивающимися косослоистыми песками и алевролитами с пластами углей и стяжениями песчаников [2].

Методы исследований. С целью определения петрохимических особенностей пород, а также выясне-

ния их генезиса и реконструкции источников поступления материала в бассейн седиментации были проведены литохимические исследования по методике Я.Э.Юдовича и М.П.Кетрис [6]. Для классификации осадочных пород предлагается использовать гидролизатный модуль (ГМ), предназначенный для количественной оценки двух важнейших гипергенных процессов — выщелачивания и гидролиза. По значению ГМ все терригенные породы подразделяются на силиты, сиаллиты и гидролизаты [6]. В силу особого

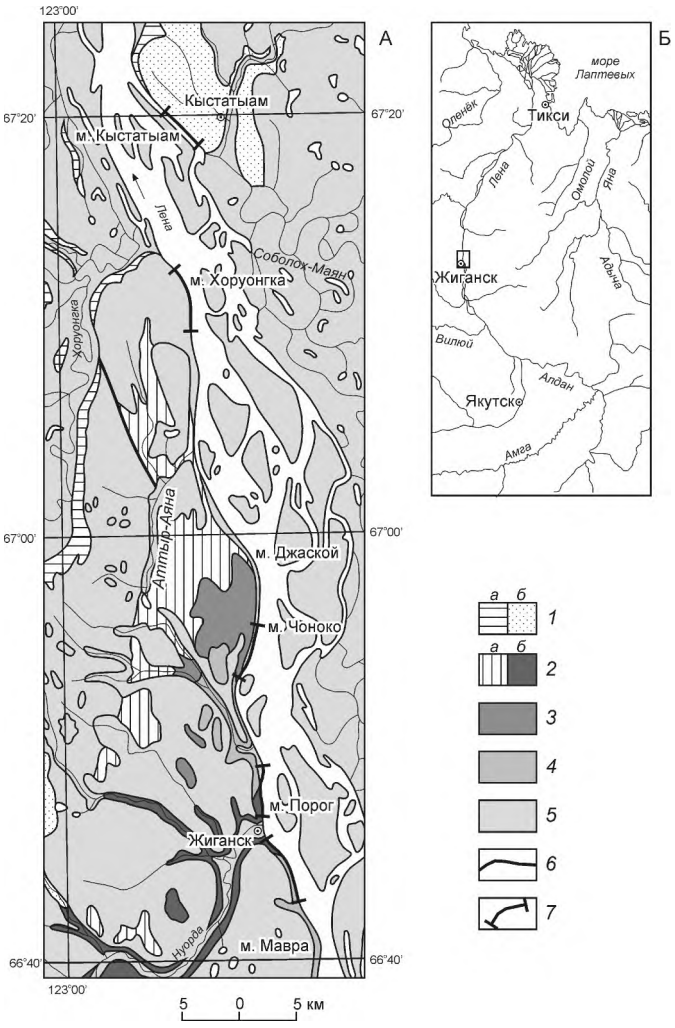

Рис. 1. Схематическая геологическая карта обнажений левого берега р.Лена, западная граница северной части Приверхоянского краевого прогиба (А) (*В.С.Прокопьев и др.*, 1999, *с упрощениями*) и расположение ее на обзорной карте северной Якутии (Б):

отложения: *1* — средняя юра, J_2: *а* — верхний подъярус ааленского яруса, J_2a_2, *б* — байос-батский ярус, J_2bj-bt, *2* — средняя—верхняя юра: *а* — джаскойская свита, $J_{2-3}dz$, *б* — джаскойская и сытогинская нерасчлененные свиты, $J_{2-3}dz+st$, *3* — сытогинская свита, верхняя юра, J_3st, *4* — ынгырская свита, нижний мел, K_1yn, *5* — неоген-четвертичные, Q; *6* — разломы неопределенной кинематики; *7* — исследуемые разрезы

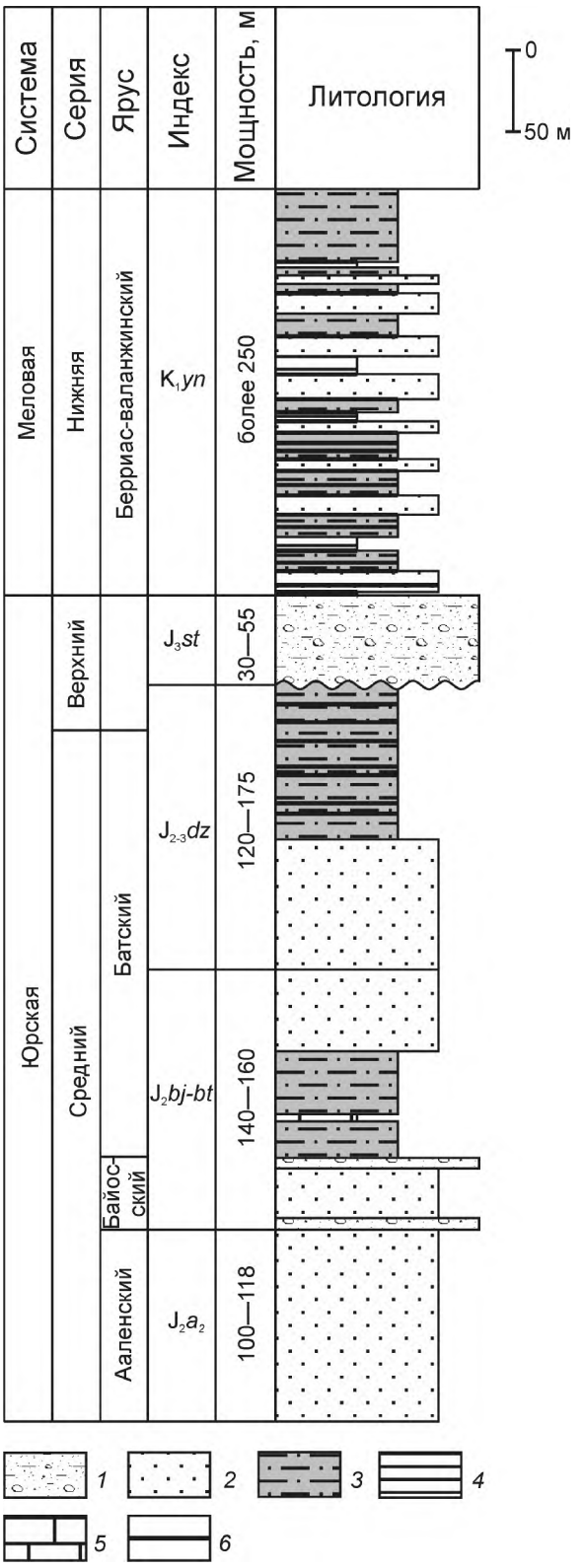

Рис. 2. Упрощенная геологическая колонка среднеюрско-нижнемеловых пород Жиганской площади северной части Приверхоянского прогиба [1]:

1 — пески уплотненные, алевролиты с пластами и стяжениями песчаников и цепочками галек; *2* — пески уплотненные с линзами и стяжениями песчаников; *3* — алевролиты; *4* — глины; *5* — стяжение и линзы известняков; *6* — пласты углей

положения сиаллитов, как пород наиболее распространенных, градация их по железистости, глиноземистости, титанистости, щелочности и фемичности представляет своего рода «стандарт», на который можно ориентироваться при характеристике и других типов пород [6].

Результаты исследований. Химический анализ всех проб показал что, они не отличаются по своему составу от свиты к свите (таблицы 1 и 2), поэтому классификация дана обобщенная для всех образцов. Миосилиты на исследуемой территории представлены псаммитами и алевролитами. Псаммиты имеют очень выдержанный, однотипный состав и наиболее широко распространены в изученных разрезах (см. табл. 1). Они характеризуются высокими содержаниями SiO_2 64,83—72,31 и Na_2O+K_2O 6,92—7,98%, а также низкими содержаниями всех остальных элементов (рис. 3, А). Высокая щелочность не характерна для терригенных толщ [6], в то время как петрогенные и пирогенные породы часто аттестуются как щелочные силиты (Na_2O+K_2O >5%). Псаммитовые миосилиты имеют повышенные значения алюмокремниевого (АМ), щелочного (ЩМ), нормальные — фемического (ФМ), титанового (ТМ), нормированной щелочности (НКМ), железного (ЖМ) петрохимических модулей. Следует отметить, что значения ТМ и ЖМ соответствуют нижнему пределу нормы, а НКМ — верхнему (здесь и далее имеются в виду нормы сиаллитового «стандарта» [6]) (см. табл. 1). Алевролиты по химическому составу похожи на псаммиты (см. табл. 1 и рис. 3, А).

Сиаллиты представлены псаммитами, алевролитами и пелитами. Псаммитовые сиаллиты отличаются от миосилитов слегка пониженным содержанием SiO_2 60,69—66,15 и Na_2O+K_2O 6,70—7,11% (см. табл. 1). Они по значению гидролизатного модуля аттестуются как нормо- и гипосиаллиты, по высокой щелочности (Na_2O+K_2O >5%) — щелочными сиаллитами (см. рис. 3, А). Щелочные разновидности сиаллитов могут оказаться или породами пирогенными — туффоидами, или, в случае их ассоциации со щелочными гидролизатами, дериватами коры выветривания [6]. В изученных разрезах гидролизаты обнаружены не были. Модули псаммитов имеют нормальные значения АМ, ФМ, ТМ и ЖМ, повышенные — ЩМ, НКМ (см. табл. 1). Для ТМ и ЖМ характерен нижний предел нормы. Основным отличием алевролитов является преобладание K_2O на 0,04—0,99% в сумме щелочей 6,17—7,43%, из 11-ти образцов только в двух Na_2O на 0,13—1,08% больше K_2O (см. рис. 3, А). Все эти изменения в химическом составе фиксируются петрохимическими модулями, для которых установлены нормальные значения АМ, ТМ, ФМ, ЖМ и ЩМ и повышенные — НКМ. Следует отметить, что для ЩМ характерен верхний предел нормы, для ТМ, ЖМ и ФМ — нижний (см. табл. 1). Пелиты по своему составу близки алевролитовым сиаллитам (см. рис. 3, А). По значению гидролизатного модуля образцы подразделяются на нормосиаллиты и лишь один является гипосиаллитом. Содержание в пелитах (в %): SiO_2 57,42—61,74; Al_2O_3 15,35—17,93; Na_2O+K_2O 5,14—7,48 (см. табл. 1); отмечено преобладание K_2O в сумме щелочей. Только в одном образце из девяти наблюдается преобладание Na_2O на 0,40%. Пелитовые сиаллиты имеют нормальные значения АМ, ТМ, ФМ, ЩМ и ЖМ и повышенное — НКМ (см. табл. 1). Для железного модуля характерен нижний предел нормы, а для щелочного — верхний.

Алкалиты встречаются в отложениях джаскойской и сытогинской свит (средняя-верхняя юра) и представлены псаммитами, выделяется по аномально высокой сумме щелочей 8,00—8,63% (см. табл. 1 и рис. 3, А). К алкалитам относятся не очень распространенные, но зато весьма специфичные седиментиты с совершенно определенной генетической нагрузкой, например, щелочные туфы и продукты их перерождения в эпигенезе [6]. По содержанию Na_2O 4,18—4,66 и K_2O 3,53—4,42% при ГМ 0,24—0,29 (миосилит) исследуемые образцы относятся к классу полевошпатовых алкалитов. Они характеризуются пониженным значением ФМ, нормальным — АМ, ТМ, НКМ и ЖМ и повышенным — ЩМ (см. табл. 1). Железный и титановый петрохимические модули имеют значения нижнего предела нормы для алкалитового типа пород.

Во всех описанных образцах от псаммитовых алкалитов, псаммитовых и алевритовых миосилитов к псаммитовым, алевритовым и пелитовым сиаллитам наблюдается постепенное снижение содержания SiO_2, Na_2O и суммы щелочей при увеличении Al_2O_3 и неизменном K_2O и увеличение значений гидролизатного модуля. Также все псаммиты имеют НМ >0,20, что свойственно только граувакам [5]. В сумме щелочей в 29 образцах наблюдается преобладание Na_2O на 0,01—1,27%, в 10 образцах незначительно (0,03—0,41%) преобладает K_2O. Согласно классификационной диаграмме Ф.Петтиджона для псаммитов, фигуративные точки исследуемых образцов благодаря низкому соотношению SiO_2/Al_2O_3 и высокому Na_2O/K_2O попадают в поле грауваккoв, что позволяет относить их к грауваккoвому типу псаммитов (см. рис. 3, Б) [3].

Также на территории встречаются псевдоосадочные образования (см. табл. 2 и рис. 3, А). Это алевритовые и пелитовые псевдосиаллиты, отобранные в отложениях байос-бата (средняя юра) и ынгырской свиты (нижний мел), с содержанием MgO >3%. Выделение этих магнезиальных пород имеет исключительно важное диагностическое значение. Среди нормальных осадочных пород таких составов, как правило, не встречается. Псевдосиаллиты отличаются от обычных сиаллитов, такой же зернистости, только содержанием MgO 3,13—4,04 против 1,01—2,94%, соответственно (см. таблицы 1 и 2). В остальном это

1. Химический состав (в %) и петрохимические модули терригенных пород Приверхоянского прогиба

Компоненты	Псаммитовые			Алевролитовые		Пелитовые сиаллиты (*n*=9)
	Алкалиты (*n*=6)	Миосилиты (*n*=28)	Сиаллиты (*n*=5)	Миосилиты (*n*=2)	Сиаллиты (*n*=11)	
SiO_2	69,58 (68,13—71,00)	68,40 (64,83—72,31)	63,08 (60,69—66,15)	66,85 (66,66—67,04)	62,18 (57,89—65,90)	60,09 (57,42—61,74)
TiO_2	0,38 (0,21—0,66)	0,55 (0,29—0,93)	0,65 (0,51—0,77)	0,63 (0,55—0,71)	0,70 (0,47—0,83)	0,76 (0,64—0,90)
Al_2O_3	15,81 (14,83—16,88)	14,85 (14,10—16,06)	15,19 (14,35—16,79)	15,33 (15,11—15,54)	15,77 (14,33—16,59)	16,48 (15,35—17,93)
Fe_2O_3	0,22 (0,00—0,39)	0,80 (0,00—2,06)	1,41 (0,33—1,99)	0,86 (0,42—1,30)	1,48 (0,00—3,17)	1,80 (1,06—3,01)
FeO	1,95 (1,57—2,53)	2,37 (0,85—3,18)	4,24 (3,31—5,02)	2,43 (2,31—2,55)	3,94 (1,88—6,67)	4,27 (2,92—6,67)
MnO	0,04 (0,03—0,05)	0,05 (0,02—0,08)	0,09 (0,08—0,10)	0,06 (0,06)	0,07 (0,04—0,12)	0,12 (0,05—0,32)
MgO	0,68 (0,50—0,99)	0,98 (0,12—1,63)	1,96 (1,17—2,50)	1,56 (1,43—1,69)	2,11 (1,01—2,94)	2,64 (2,25—2,92)
CaO	2,05 (1,66—2,42)	2,38 (1,38—3,86)	2,20 (1,85—2,75)	2,03 (1,75—2,30)	1,90 (1,50—2,43)	1,86 (1,36—2,25)
Na_2O	4,39 (4,18—4,66)	3,90 (3,37—4,48)	3,47 (3,27—3,65)	3,66 (3,55—3,77)	3,40 (3,01—4,18)	2,96 (2,32—3,32)
K_2O	3,78 (3,44—4,42)	3,53 (2,90—4,06)	3,44 (3,05—3,71)	3,78 (3,62—3,93)	3,70 (3,02—4,09)	3,78 (2,37—4,18)
П.П.П.	0,97 (0,67—1,28)	1,46 (0,43—2,91)	3,01 (2,13—4,85)	1,81 (1,63—1,99)	3,75 (2,27—7,76)	4,31 (3,29—6,35)
P_2O_5	0,15 (0,11—0,20)	0,21 (0,10—0,39)	0,23 (0,17—0,28)	0,27 (0,26—0,27)	0,21 (0,15—0,27)	0,24 (0,19—0,32)
CO_2	0,00	0,44 (0,00—1,61)	0,98 (0,00—1,81)	0,69 (0,00—1,38)	0,74 (0,00—2,23)	0,66 (0,00—2,14)
S	0,02 (0,00—0,06)	0,08 (0,00—0,45)	0,12 (0,11—0,13)	0,00	0,14 (0,07—0,22)	0,04 (0,00—0,08)
Сумма	100,02 (99,75—100,32)	99,98 (99,00—100,67)	100,01 (99,76—100,32)	99,94 (99,54—100,34)	100,01 (99,54—100,36)	99,98 (99,65—100,40)
Na_2O+K_2O	8,17 (8,00—8,63)	7,43 (6,92—7,98)	6,91 (6,70—7,11)	7,44 (7,39—7,48)	7,10 (6,17—7,43)	6,74 (5,14—7,48)
ГМ	0,26 (0,24—0,29)	0,27 (0,23—0,30)	0,34 (0,31—0,38)	0,29	0,36 (0,31—0,44)	0,39 (0,35—0,43)
АМ	0,23 (0,21—0,25)	0,22 (0,19—0,23)	0,24 (0,22—0,28)	0,23	0,25 (0,22—0,28)	0,27 (0,26—0,30)
ФМ	0,04 (0,03—0,05)	0,06 (0,02—0,09)	0,12 (0,10—0,15)	0,07 (0,07—0,08)	0,12 (0,08—0,20)	0,15 (0,12—0,19)
ТМ	0,024 (0,014—0,043)	0,037 (0,020—0,064)	0,043 (0,035—0,053)	0,041 (0,035—0,047)	0,044 (0,033—0,051)	0,046 (0,040—0,050)
НМ	0,28 (0,27—0,28)	0,26 (0,23—0,30)	0,23 (0,20—0,25)	0,24 (0,23—0,24)	0,22 (0,18—0,29)	0,18 (0,14—0,21)
КМ	0,24 (0,20—0,30)	0,24 (0,20—0,26)	0,23 (0,20—0,24)	0,25 (0,23—0,26)	0,23 (0,18—0,26)	0,23 (0,13—0,26)
ЩМ	1,17 (0,95—1,33)	1,12 (0,90—1,41)	1,02 (0,89—1,20)	0,97 (0,90—1,04)	0,93 (0,76—1,35)	0,80 (0,58—1,17)
НКМ	0,52 (0,48—0,58)	0,50 (0,47—0,55)	0,46 (0,42—0,50)	0,49 (0,48—0,50)	0,45 (0,38—0,51)	0,41 (0,29—0,46)
ЖМ	0,14 (0,10—0,17)	0,21 (0,11—0,32)	0,36 (0,30—0,42)	0,21 (0,19—0,23)	0,33 (0,20—0,50)	0,36 (0,29—0,53)

Примечание. Силикатные анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН; аналитики: Л.Т.Галенчикова, С.Е.Дьяконова, С.Е.Васильева; первая строка — среднее содержание, вторая строка — интервал значений (в скобках); *n* — число исследованных образцов, классификация по работе [5].

2. Химический состав (в %) и петрохимические модули «псевдоосадочных» и карбонатных пород Приверхоянского прогиба

Компоненты	Алевро-пелитовые псевдосиаллиты (*n*=6)	Карбонатные			Псаммитовый карбонатолит (*n*=1)
		Псаммитовый щелочной сиаллит (*n*=1)	Алевро-псаммиты (*n*=3)	Псаммитовые стяжения (*n*=5)	
SiO_2	58,28 (56,24—59,53)	48,40	42,25 (41,38—42,91)	42,51 (36,71—48,35)	32,09
TiO_2	0,87 (0,72—1,00)	0,57	0,59 (0,34—0,95)	0,36 (0,11—0,73)	0,46
Al_2O_3	16,74 (16,04—17,48)	12,91	9,61 (9,33—10,05)	9,49 (8,21—10,99)	8,25
Fe_2O_3	1,68 (0,00—2,82)	1,87	0,66 (0,03—1,19)	0,46 (0,00—0,76)	3,05
FeO	4,96 (4,05—7,86)	3,46	2,22 (1,73—2,62)	2,42 (1,70—3,07)	1,25
MnO	0,07 (0,05—0,10)	0,07	0,52 (0,20—0,69)	0,16 (0,09—0,32)	0,10
MgO	3,47 (3,13—4,04)	1,74	0,78 (0,30—1,19)	0,56 (0,15—0,90)	0,31
CaO	1,84 (1,40—2,90)	12,51	21,62 (21,04—22,27)	21,67 (18,30—25,21)	27,53
Na_2O	2,78 (2,15—3,09)	2,82	2,48 (2,39—2,55)	2,63 (2,31—2,81)	1,87
K_2O	3,64 (2,91—4,37)	3,42	1,83 (1,54—2,08)	2,31 (1,74—2,85)	2,69
П.П.П.	4,78 (3,57—6,06)	2,68	1,31 (0,80—1,61)	0,79 (0,16—1,60)	0,58
P_2O_5	0,21 (0,20—0,22)	0,29	0,21 (0,15—0,30)	0,13 (0,07—0,22)	0,27
CO_2	0,63 (0,00—1,80)	9,30	15,56 (15,30—16,03)	16,56 (13,21—-19,73)	21,39
S	0,11 (0,07—0,15)	0,19	0,09 (0,00—0,18)	0,01 (0,01—0,02)	0,43
Сумма	101,18 (100,17—103,68)	100,23	99,73 (99,58—99,96)	100,70 (100,29—101,22)	100,34
Na_2O+K_2O	6,41 (5,76—7,46)	6,24	4,31 (4,09—4,47)	4,93 (4,29—5,65)	4,56
ГМ	0,42 (0,39—0,47)	0,39	0,32 (0,29—0,34)	0,30 (0,27—0,35)	0,41
АМ	0,29 (0,27—0,31)	0,27	0,23 (0,22—0,24)	0,22 (0,21—0,23)	0,26
ФМ	0,18 (0,15—0,21)	0,15	0,10 (0,08—0,13)	0,09 (0,06—0,13)	0,15
ТМ	0,052 (0,044—0,057)	0,044	0,061 (0,036—0,095)	0,040 (0,013—0,089)	0,056
НМ	0,17 (0,12—0,19)	0,22	0,26 (0,25—0,26)	0,28 (0,24—0,32)	0,23
КМ	0,22 (0,18—0,26)	0,26	0,19 (0,15—0,22)	0,24 (0,21—0,33)	0,33
ЩМ	0,78 (0,55—0,98)	0,82	1,38 (1,15—1,66)	1,17 (0,98—1,47)	0,70
НКМ	0,38 (0,34—0,45)	0,48	0,45 (0,41—0,48)	0,52 (0,44—0,64)	0,55
ЖМ	0,38 (0,32—0,45)	0,40	0,33 (0,29—0,42)	0,31 (0,23—0,44)	0,51

Примечание. См. примечание к табл. 1.

такие же щелочные (Na_2O+K_2O=5,76—7,46%) сиаллиты с высоким содержанием SiO_2 56,24—59,53% и пониженным — всех остальных компонентов и образуют вместе с другими образцами на модульной диаграмме единый тренд (см. рис. 3, А). В сумме щелочей преобладает K_2O. Практически все петрохимические модули имеют нормальные значения, кроме НКМ, значение которого повышенное, по сравнению со «стандартом» псевдосиаллитов [6] (см. табл. 2). Наблюдается явное сочетание магнезиальности с калиевостью. Это свидетельствует о том, что исследуемые породы могут быть или аркозами, или щелочными туффоидами. В работе [6] упоминается о первоначально неодинаковом проведении нижней границы для псевдосилитов MgO >3, а для псевдосиаллитов MgO >5%. Однако, с целью повысить «чувствительность» диагностики туффоидов граница для псевдосиаллитов была снижена до 3%. Таким образом, исследуемые псевдоосадочные породы, характеризуются или как магнезиально-калиевые псевдосиаллиты, или как щелочные сиаллиты, с примесью кислой пирокластики.

В разрезе наблюдались слабо карбонатные алевро-псаммиты средне-позднеюрского возраста. Данная группа выделена по высокому содержанию CO_2 9,30—21,39%, в то время как в миосилитах, сиаллитах и псевдосиаллитах оно колеблется от 0 до 2,23% (см. таблицы 1, 2). Карбонатные породы по содержанию CO_2 условно можно подразделить на три подгруппы. Первая представлена щелочным псаммитовым сиаллитом, который характеризуется самыми высокими содержаниями (в %): SiO_2 48,40, Al_2O_3 12,91, Na_2O 2,82, K_2O 3,42 и суммы щелочей 6,24 и относительно низкими — CaO 12,51, CO_2 9,30. Этот образец имеет повышенное значение НКМ и нормальные — всех остальных модулей (см. табл. 2). Вторая — алевро-псаммиты, по значению гидролизатного модуля подразделяемые на псаммитовые миосилит и гипосиаллит и алевритовый гипосиаллит. Они отличаются более низкими содержаниями (в %): SiO_2 41,38—42,91, Al_2O_3 9,33—10,05, Na_2O 2,39—2,55, K_2O 1,54—2,08 и суммы щелочей 4,09—4,47 и более высокими — CaO 21,04—22,27, CO_2 15,30—16,03. АМ, ТМ, ФМ, ЖМ имеют нормальные значения, а НКМ и ЩМ — повышенные. Для ЖМ характерен нижний предел нормы, для АМ и ТМ — верхний (см. табл. 2). Третья подгруппа — псаммитовый нормосиаллит, по содержанию CO_2 >20%, относятся к типу карбонатолитов [6]. Он характеризуется наименьшими в группе карбонатных алевро-псамми-

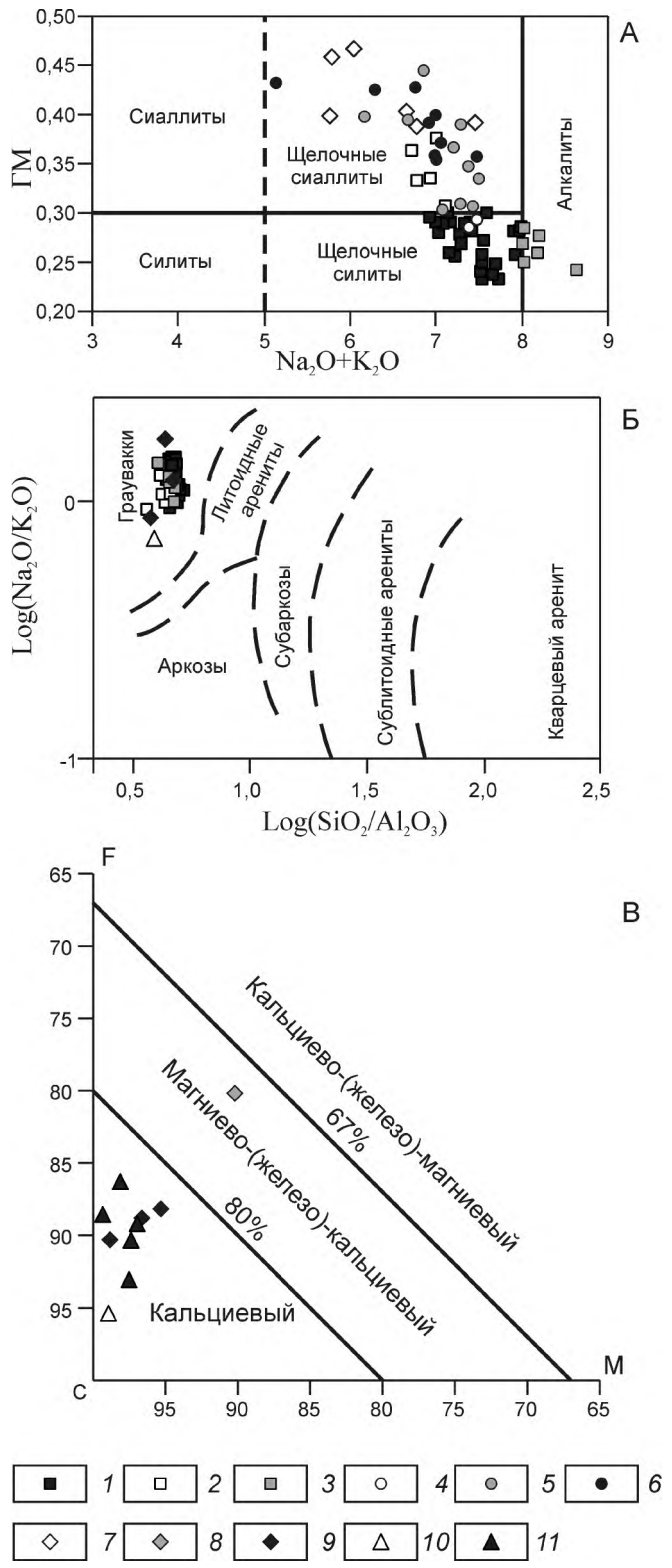

Рис. 3. Классификационные диаграммы для среднеюрско-нижнемеловых терригенных пород Жиганской площади северной части Приверхоянского краевого прогиба:

А — модульная диаграмма Na_2O+K_2O—ГМ, Б — диаграмма для псаммитов [2] и В — треугольная диаграмма FCM для карбонатных пород [5]; *1* — псаммитовые миосилиты; *2* — псаммитовые сиаллиты; *3* — псаммитовые алкалиты; *4* — алевролитовые миосилиты; *5* — алевролитовые сиаллиты; *6* — пелитовые сиаллиты; *7* — алевро-пелитовые псевдосиаллиты; *8* — карбонатный щелочной псаммитовый сиаллит; *9* — карбонатные псаммиты и алевро-псаммиты; *10* — псаммитовый карбонатолит; *11* — гигантские псаммитовые стяжения; F=FeO+MnO, C=CaO, M=MgO

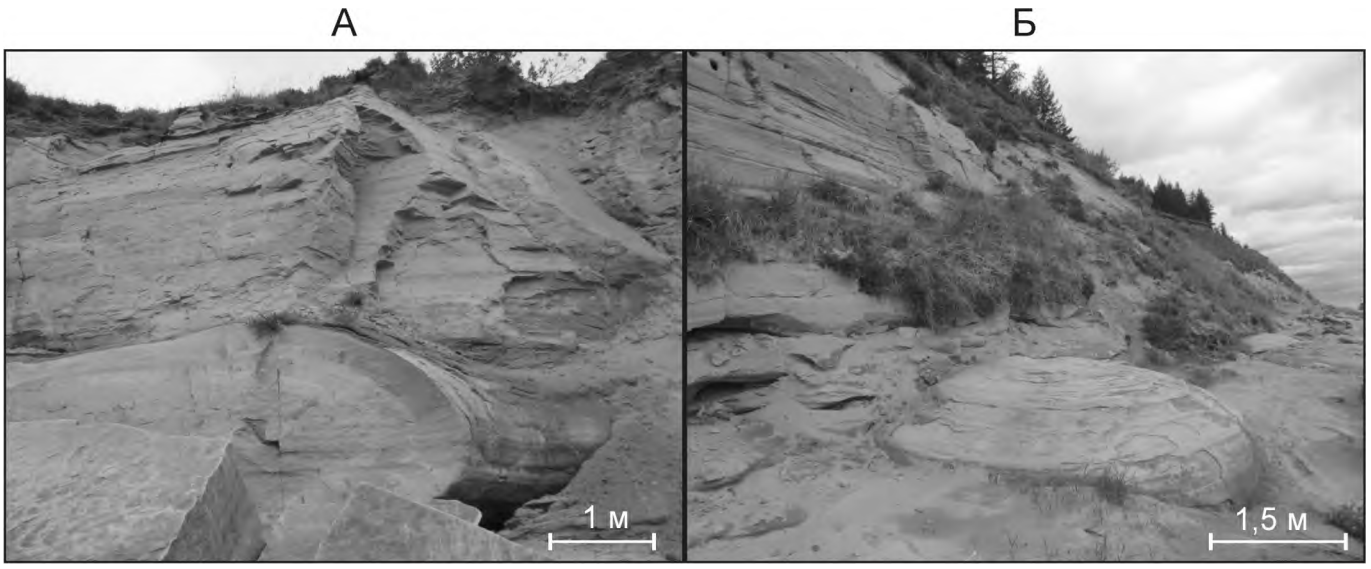

Рис. 4. Громадные караваеобразные стяжения слабо карбонатных псаммитов на границе сытогинской (верхняя юра) и ынгырской свит (нижний мел)

тов содержаниями (в %): SiO_2 32,09, Al_2O_3 8,25, Na_2O 1,87, более высокими — CaO 27,53, CO_2 21,39 и повышенными (по отношению ко второй подгруппе, но не к первой) — K_2O 2,69 и суммы щелочей 4,56. Образец имеет пониженное значение ФМ, повышенное — НКМ и нормальное — всех остальных модулей (см. табл. 2). В общем, наблюдается постепенное повышение CaO и CO_2 (карбонатности), сопровождаемое уменьшением SiO_2, Al_2O_3, Na_2O. Содержание K_2O понемногу снижается, однако при достижении содержания CO_2 больше 20% начинает повышаться. В целях классификации карбонатных пород сумма CaO+MgO+FeO+MnO принимается за 100% и анализы отображаются на треугольной диаграмме FCM (F=FeO+MnO, C=CaO, M=MgO) [6]. Согласно этой диаграмме (см. рис. 3, В), щелочной карбонатный псаммитовый сиаллит относится к магниево-(железо)-кальциевому, а все остальные — к кальциевому классам. Таким образом, тренд, который образуют фигуративные точки этих пород, свидетельствует о постепенной карбонатизации пород в процессе постседиментационных изменений.

В породах нерасчлененной джаской-сытогинской и ынгырской свит были опробованы очень крупные (диаметром до нескольких метров) караваеобразные стяжения песчаников, интересные своими гигантскими размерами, поскольку более нигде в прогибе в юрско-меловых породах подобных образований не встречается (рис. 4). Они по своему химическому составу практически идентичны описанным карбонатным алевро-псаммитам (см. табл. 2) и характеризуются низкими содержаниями (в %): SiO_2 36,71—48,35, Al_2O_3 8,21—10,99, Na_2O 2,31—2,81, K_2O 1,74—2,85 и высокими — CaO 18,30—25,21, CO_2 13,21—19,73. Сумма щелочей 4,29—5,65% при преобладании Na_2O (только у одного образца K_2O больше на 0,05%). ФМ, ТМ, ЖМ, АМ имеют, как правило, нормальные значения, а НКМ и ЩМ — повышенные (см. табл. 2).

Геодинамические обстановки формирования. Литохимические особенности пород свидетельствуют о возможном влиянии вулканических процессов при осадконакоплении юрско-меловых толщ этой части Приверхоянского прогиба. Для выявления геодинамических обстановок формирования отложений авторы построили диаграммы М.Р.Бхатия для терригенных пород (псаммитов, пелитов) [7], Дж.Мэйнарда [8] и Б.Розера [9]. На диаграммы М.Р.Бхатия нанесены фигуративные точки химических составов псаммитовых миосилитов, сиаллитов и алкалитов (рис. 5, А—Г). В целом, на всех диаграммах все изученные псаммиты образуют единое поле, что свидетельствует об их формировании в сходной геодинамической обстановке. Фигуративные точки псаммитовых миосилитов на всех четырех диаграммах тяготеют к полю активных континентальных окраин. Точки псаммитовых сиаллитов на трех диаграммах тяготеют к полю континентальных островных дуг и только на рис. 5, Б попадают в поле активных континентальных окраин. Фигуративные точки алкалитов на рис. 5, А тяготеют к полю пассивных континентальных окраин, в то время как в остальных трех располагаются непосредственно рядом с миосилитами и тяготеют к полям активных окраин. На диаграмме Дж.Мэйнарда [8] фигуративные точки псаммитов образуют единую совокупность, располагающуюся на границе полей активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями, и активных континентальных окраин, сопряженных с окраинно-континентальными дугами и с океаническими

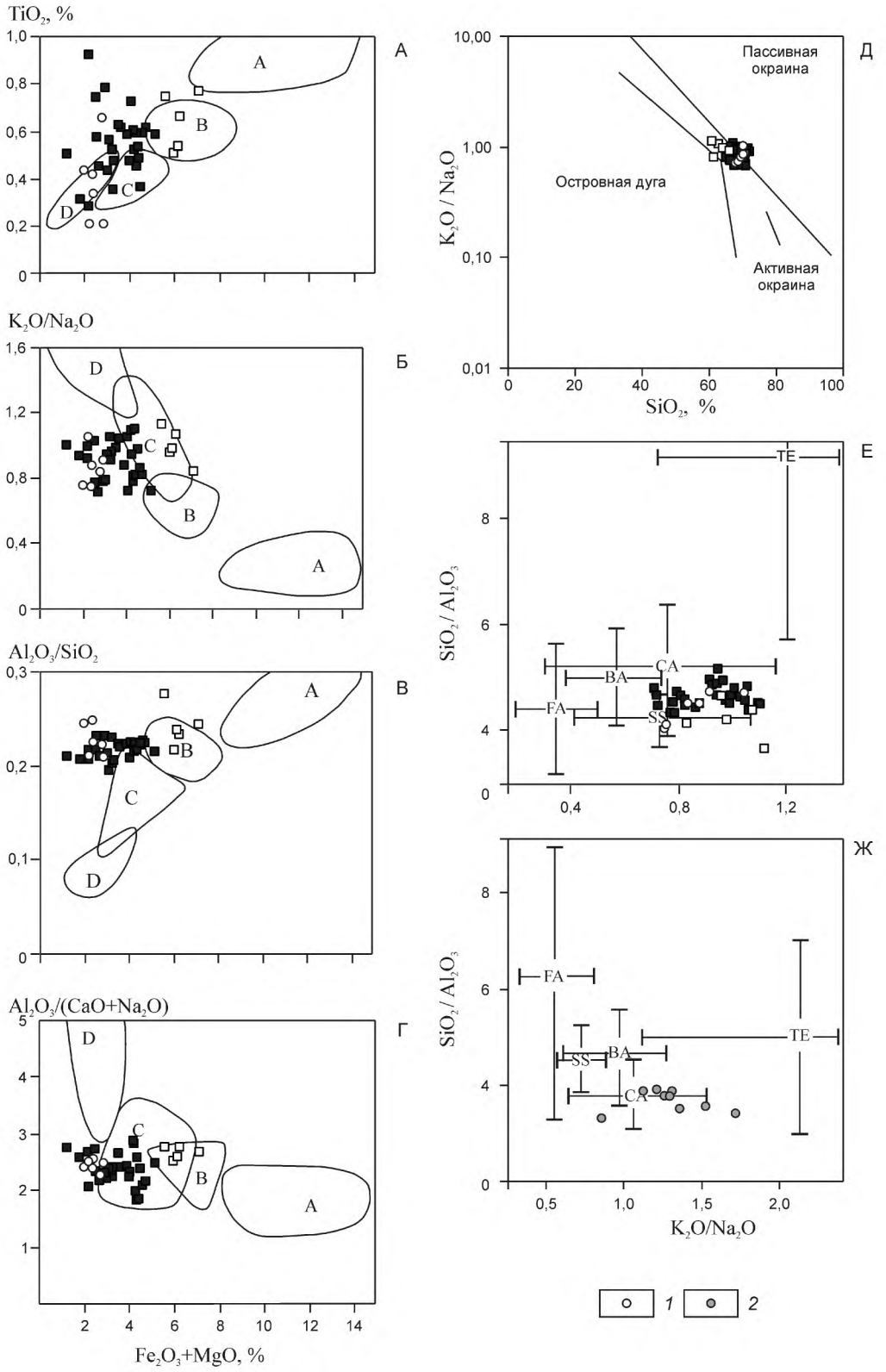

Рис. 5. Положение фигуративных точек пород на дискриминационных диаграммах песчаников (А—Г [6], Д [9], Е [8]) и глинистых пород (Ж [8]):

поля: A — океанические островные дуги, B — континентальные островные дуги, C — активная континентальная окраина, D — пассивная континентальная окраина; пересекающиеся линии, стандартные отклонения от средних составов современных глубоководных песков из бассейнов: TE — пассивных, SS — активных континентальных окраин осложненных сдвиговыми дислокациями, CA — активных континентальных окраин, сопряженных с окраинно-континентальными дугами и океаническими вулканическими дугами (BA — задуговые и FA — преддуговые бассейны); *1* — псаммитовые алкалиты, *2* — пелитовые сиаллиты; см. услов. обозн. к рис. 3

вулканическими дугами (см. рис. 5, Д). Диаграмма Дж.Мэйнарда для глинистых пород показывает, что совокупность фигуративных точек пелитовых сиаллитов тяготеет к полю активных континентальных окраин, сопряженных с окраинно-континентальными дугами и с океаническими вулканическими дугами (см. рис. 5, Е). На диаграмме Б.Розера [9] исследуемые псаммиты также попадают в поле, близкое к активным окраинам (см. рис. 5, Ж).

Литохимические особенности изученных отложений указывают на их образование в условиях активных континентальных окраин. Это, однако, противоречит современным представлениям о тектонической истории развития северо-восточной части Сибирской платформы в мезозое, согласно которым осадконакопление триасовых-верхнеюрских отложений происходило на пассивной континентальной окраине, а волжских-нижнемеловых в передовом прогибе [4]. Этому можно дать следующие объяснения: 1) используемые дискриминационные диаграммы, в реальности отражают не геодинамические обстановки осадконакопления, а тектонические режимы источников сноса обломочного материала, которые могли находиться на значительном расстоянии от конечного бассейна осадконакопления и иметь отличную от него геодинамическую историю; 2) диаграммы не учитывают всего многообразия вулканогенно-осадочных пород и геодинамических обстановок их формирования, сужая область их применения только для разграничения крупных тектонических единиц, таких как активная и пассивная окраина, и исключая из рассмотрения внутриплатформенные вулканогенно-осадочные образования; 3) проведенные исследования показывают, что наши знания о тектонической эволюции северо-восточной части Сибирской платформы еще недостаточно полные.

В заключение следует отметить, что изученные юрско-меловые породы предыдущими исследователями были отнесены к нормально-осадочным отложениям [2]. Однако несвойственные таковым литохимические особенности исследованных образцов позволяют предположить значительный вклад в формирование данных толщ кислой пирокластики. Это дает возможность, в свою очередь, предположить их вулканогенно-осадочное происхождение. По-видимому, в процессе накопления среднеюрско-раннемеловых отложений Приверхоянского прогиба происходил привнос пирокластического материала кислого состава с вулканических дуг, располагавшихся вдоль восточной окраины Сибирского континента. Следует заметить, что аналогичные исследования нижнемеловых пород были выполнены для восточной границы Приверхоянского прогиба, в районе мысов Чуча и Чекуровка [1]. Литохимические особенности как нижнемеловых пород названных мысов, так и среднеюрско-нижнемеловых отложений Жиганской площади близки. Это позволяет предположить, что привнос материала происходил из единого источника. Отличием является более высокая щелочность пород Жиганской площади, то есть их большая свежесть и близость к источнику вулканогенно-осадочного материала.

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 14-05-31298, 13-05-00700, 13-05-0094, гранта Президента РФ МК-2044.2010.5 и гранта СПбГУ № 3.0.93.2010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев Д.А., Ивенсен Г.В., Ершова В.Б., Прокопьев А.В.* Особенности химического состава нижнемеловых отложений северной части Приверхоянского краевого прогиба // Отечественная геология. 2013. № 5. С. 106—115.
2. *Колпаков В.В., Биджиев Р.А., Белова А.П.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Нижнеленская. Лист Q-51-IX, X. Объяснительная записка. —М.: Копировально-картографическое предприятие Всесоюзного геологического фонда, 1970.
3. *Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники. —М., 1976.
4. *Прокопьев А.В., Парфенов Л.М., Томшин М.Д., Колодезников И.И.* Чехол Сибирской платформы и смежных складчато-надвиговых поясов // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). —М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 113—155.
5. *Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В.* и др. Интерпретация геохимических данных. —М.: Интермет Инжиниринг, 2001.
6. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. —С-Пб: Наука, 2000.
7. *Bhatia M.R.* Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // Journal of Geology. 1983. Vol. 91. № 6. Pp. 611—627.
8. *Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-S.* Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins. —Oxford, 1982. Pp. 551—561.
9. *Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio // Journal of Geology. 1986. № 94. Pp. 635—650.