

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ЗАПАДНОГО СИХОТЕ-АЛИНЯ (КОМСОМОЛЬСКИЙ РАЗРЕЗ) КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТАВА ПОРОД ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

© 2022 С.А. Медведева

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН,  
Хабаровск, Россия, 600000; e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 29.12.2021; после доработки 09.04.2022; принята в печать 27.06.2022

Изучен состав позднемезозойских терригенных пород Комсомольского опорного разреза. По минералого-петрографическому составу песчаные породы разреза относятся к кислым грауваккам и, частично, аркозам. В составе обломочного материала преобладают сиалические минералы, происходящие из гранитоидов и гранито-гнейсов. По содержаниям породообразующих оксидов ( $\text{SiO}_2$  — 69–77%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 11.9–15.9%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 2.1–4.2%) песчаники соответствуют составу кислых изверженных пород. В свою очередь алевролиты ( $\text{SiO}_2$  — 63–68%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 14.7–17.0%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4.0–6.7%) занимают промежуточное положение между средними и кислыми магматическими породами. По химической классификации песчаники относятся к ваккам и аркозам, алевролиты — к сланцам и ваккам. Суммарные содержания РЗЭ в изученных песчаниках колеблются от 103 до 162 г/т, а в алевролитах от 117 до 184 г/т. Относительно высокие отношения в изученных породах легких лантаноидов к тяжелым ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N=7.0\text{--}12.0$ ), а также достаточно отчетливо выраженная отрицательная европиевая аномалия подтверждает вывод о преобладающем влиянии на накопление отложений Комсомольского разреза размывавшихся областей питания, сложенных кислыми магматическими породами.

*Ключевые слова:* Комсомольский разрез, песчаники, алевролиты, состав пород, Сихотэ-Алинь.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Известно, что вещественный состав осадочных пород зависит от многих факторов. Зная этот состав, можно восстанавливать различные этапы геологической эволюции. Изучение осадочных комплексов привлекает неизменный интерес исследователей, поскольку позволяет, в частности, определить состав источников осадочного материала и, в итоге, реконструировать палеогеографические и палеодинамические обстановки осадконакопления.

На правом берегу р. Амур, напротив г. Комсомольск-на-Амуре, находится Комсомольский (Пиванский) опорный разрез верхнеюрских и нижнемеловых отложений. Коренные выходы пород прослеживаются вдоль берега р. Амур вниз по течению от пос. Пивань примерно на 18 км. С 30-х годов XX в. по начало XXI в. непосредственно на разрезе и на прилегающих территориях проводились тематические работы по

оценке перспектив нефтеносности, выделению стратиграфических подразделений, изучению петрографического состава пород. В ходе разномасштабных геологосъемочных и гидрогеологических работ во второй половине XX столетия важное место уделялось также поискам твердых полезных ископаемых. Обобщение опубликованных и рукописных результатов вышеупомянутых предшествующих исследований, наряду с собственными, проведено сотрудниками института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск). Оно представлено в работе (Кириллова и др., 2009).

В начале второго десятилетия XXI в. нами, сотрудниками ИТиГ ДВО РАН и института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (г. Новосибирск) было возобновлено детальное изучение Комсомольского разреза (Кириллова и др., 2010, Урман и др., 2011). Возникла необходимость уточнения хроностратиграфической схемы разреза и расширения

базы данных о вещественном составе осадочных пород. Например, ранее возраст вскрывавшихся здесь отложений варьировался в широком диапазоне — от поздней юры до раннего мела (волга-валанжин), вещественные характеристики пород ограничивались петрографическим описанием песчаников и некоторыми специальными параметрами, применяемыми для характеристики качества строительных материалов (например  $MgO/CaO$ ) или в нефтяной геологии (содержание органического углерода Сор<sub>г</sub>, хлороформенный битумоид Бхл., битумоидный коэффициент  $\beta$  и др.) (Кириллова и др., 2009). Валовый химический состав, содержания РЗЭ ранее были охарактеризованы лишь несколькими пробами песчаников.

По результатам обработки палеонтологической коллекции опубликованы материалы и статья, в которых авторы уточнили хроностратиграфическую схему разреза (Урман и др., 2011, 2014).

Анализы значений литохимических модулей, содержаний порообразующих оксидов, а также концентраций малых и редкоземельных (РЗЭ) элементов в осадочных породах приведены в работах (Медведева, 2019, 2021).

Цель данной работы — на основе анализа и интерпретации полученных новых данных о содержаниях и характере распределения главных, малых и РЗЭ в осадочных породах установить состав материнских пород источников питания.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

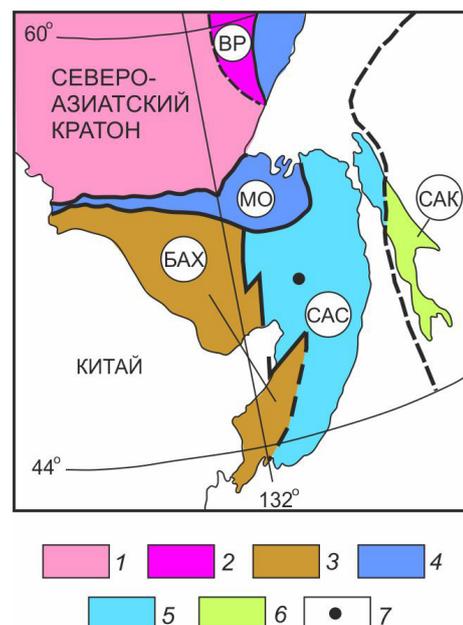
Согласно схеме тектонического районирования юга Дальнего Востока России район (рис. 1) исследований входит в состав раннемелового Сихотэ-Алинь – Северо-Сахалинского орогенного пояса (Кириллова и др., 2006). Комсомольский разрез сложен толщами: ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов ( $J_3v_3$ , более 700 м), алевролитовой ( $J_3v_3-K_1r$ , 1070 м) и песчанниковой ( $K_1v_1$ , до 470 м) (рис. 2). Возраст отложений определен по находкам морской макро- (в основном бухии) и микрофауны (радиолярии) (Kirillova et al., 2002). Уточненная по сравнению с предшественниками хроностратиграфическая схема разреза следующая (Урман и др., 2014): верхневолжский подъярус  $J_3v_3$  (толща ритмичного переслаивания), верхи верхневолжского подъяруса-рязанский ярус  $J_3v_3-K_1r$  и рязанский ярус (без самых низов)  $K_1r$  (алевролитовая толща), нижний валанжин  $K_1v_1$  (песчанниковая толща). Палеонтологическим и литохимическим методами подтверждена «субсинклинальная» гипотеза структуры разреза в более изученной части примерно до 11 км от пос. Пивань вниз по течению р. Амур. Определений макрофауны в интервале 11–18 км нет (определены радиолярии на 11 км

как «титонские»), поэтому нами он условно называется «немой» толщей, и возраст принят позднеюрским (титонским). Ранее было показано отличие литохимических параметров алевролитов этой части от алевролитов более изученной части разреза (Медведева, 2019). В предлагаемой работе также уделено внимание «немой» толще.

В целом, в разрезе преобладают тонкозернистые породы (аргиллиты и алевролиты), песчаников заметно меньше, а гравелиты и конгломераты редки. Песчаники, алевролиты и аргиллиты часто образуют пачки ритмичного переслаивания. Иногда встречаются карбонатные конкреции.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящая статья основана на новом материале, полученном автором в результате изучения геохимических особенностей песчаников и алевролитов из верхнеюрских-нижнемеловых отложений Комсомольского разреза (рис. 2).



**Рис. 1.** Тектоническая карта юга Дальнего Востока России по (Кириллова и др., 2006): 1 — Северо-Азиатский кратон; 2 — Верхоянская пассивная окраина (ВП); 3–6 — орогенные пояса: 3 — раннепалеозойский Бурей-Аргуно-Ханкайский (БАХ), 4 — среднеюрский Монголо-Охотский (МО), 5 — раннемеловой Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинский (САС), 6 — раннекайнозойский Сахалинско-Камчатский (САК); 7 — район исследований.

**Fig. 1.** Tectonic map of the south of the Russian Far East after (Kirillova et al., 2006): 1 — North Asian craton; 2 — Verkhoyan passive margin (ВП); 3–6 — orogenic belts: 3 — Early Paleozoic Bureya-Argun-Khanka (БАХ), 4 — Middle Jurassic Mongol-Okhotsk (МО), 5 — Early Cretaceous Sikhote-Alin-North Sakhalin (САС), 6 — Early Cenozoic Sakhalin-Kamchatka (САК); 7 — study area.



Содержания оксидов главных элементов определялись в лаборатории рентгеноспектрального анализа Северо-восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН (г. Магадан) на спектрометрах СРМ-25 (Россия, «Научприбор») и VRA-30 (Германия, Карл Цейс Йена) аналитиками Т.Д. Борходоевой и В.И. Мануиловой. Концентрации Zr, Sc, Th, Cr, Co, РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) были определены методом спектрального анализа в аргоновой плазме на спектрометре ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США) в Хабаровском инновационно-аналитическом центре ИТиГ ДВО РАН (аналитики Д.В. Авдеев, В.Е. Зазулина, Л.С. Боковенко). Разложение проб выполнено кислотно-микроволновым методом в автоматической системе пробоподготовки Multiwave 3000.

Основная описательная петрографическая характеристика песчаников приведена из отчетных материалов о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 и поисковом бурении на воду в районе г. Комсомольска-на-Амуре за 1967–1969 гг. Однако в производственных организациях в те годы методики и требования к петрографическим описаниям песчаников были другими. Отсутствие количественных характеристик делает невозможным нанесение их на современные классификационные диаграммы (Шванов и др., 1998). Петрографом Т.В. Климовской проведен количественный подсчет содержаний обломочных зерен минералов и пород с использованием поляризационного микроскопа МИН-8 и описание нескольких шлифов, изготовленных из отобранных нами песчаников. Для определения типов этих песчаников применена классификационная диаграмма В.Н. Шванова (Шванов и др., 1998). Анализ содержаний элементов и геохимических характеристик пород осуществлялся по методикам, рекомендованным отечественными и зарубежными авторами (Интерпретация..., 2001; Маслов, 2005; Roser, Korsch, 1988 и др.), и широко используемым исследователями (Васильев и др, 2013; Канева и др., 2016; Попеко и др., 2019 и др.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные песчаники — серые, часто с зеленоватым оттенком, мелко- и средне-мелкозернистые массивные породы. Преобладают угловатые, реже слабоокатанные, обломки с низкой степенью сортировки. Состав песчаников Комсомольского разреза: кварц (22–35%), полевые шпаты (43–57%, преимущественно кислые плагиоклазы), обломки пород (14–25%), цемент (10–24%). Присутствуют мусковит и биотит.

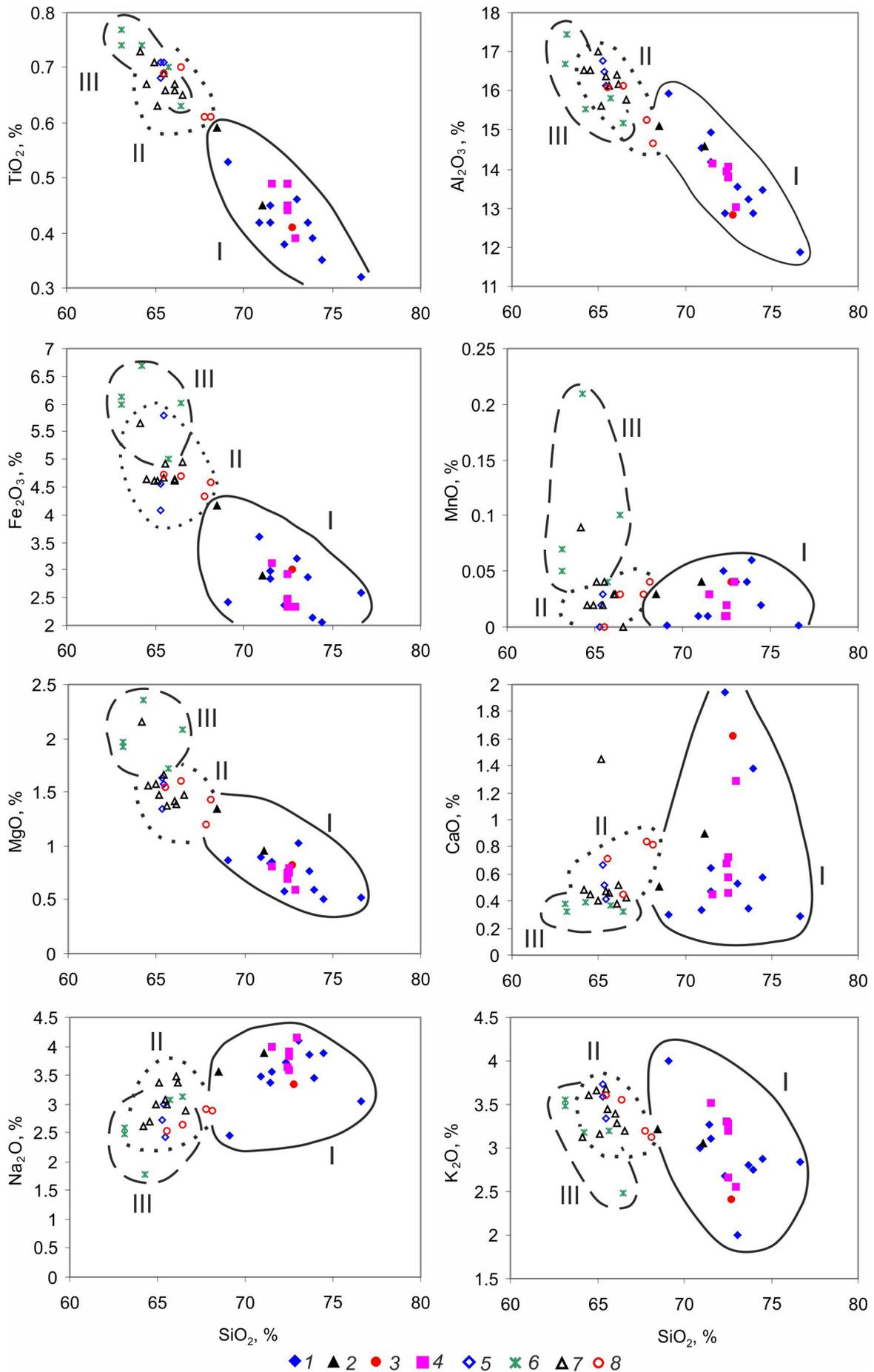
Среди обломков пород преобладают кремнистые породы, микрокварциты, алевролиты, песчаники, реже встречаются кварц-серицитовые, хлорит-полевошпатовые и хлоритовые сланцы, хлоритизированные вулканиты среднего-основного состава. Из аксессуарных минералов определены циркон, апатит, сфен, гранат, турмалин, эпидот, ортит, магнетит, причем преобладают сиалические минералы, происходящие из гранитно-метаморфических пород. Цемент базальный, поровый, соприкосновения, по составу — железисто-слюдистый, кварцево-слюдистый, хлоритовый.

На классификационной диаграмме по (Шванов и др., 1998) фигуративные точки песчаников ложатся в область пересечения полей граувакковых аркозов, полевошпатовых гравувакк и полевошпатовых пород (Медведева, 2019).

Обломочные породы являются индикаторами состава материнских пород областей сноса. Их петрографический состав в целом тождествен составу пород этих областей. Наличие кварца, калиевых полевых шпатов, кислых плагиоклазов, слюд, сиалических аксессуарных минералов свидетельствует о разрушении гранитов, гранодиоритов, гранито-гнейсов. Эти изверженные и метаморфические породы кислого состава имеют сравнительно крупные размеры зерен, что способствует довольно быстрой дезинтеграции пород и может объяснить почти полное отсутствие обломков гранитоидов в песчаниках Комсомольского разреза. Значительное же количество обломков осадочных пород говорит о разрушении допозднемезозойских осадочных комплексов, сложенных кремнистыми породами, алевролитами, микрокварцитами, песчаниками — также породами кислого состава.

Содержания главных породообразующих оксидов в песчаниках (масс. %) довольно близки и колеблются в пределах:  $\text{SiO}_2$  — 68.5–76.6,  $\text{TiO}_2$  — 0.32–0.59,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 11.9–15.9,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 2.1–4.2,  $\text{MgO}$  — 0.5–1.4,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 2.5–4.1,  $\text{K}_2\text{O}$  — 2.0–4.0, сумма щелочей — 5.74–7.49. В песчаниках более высокие содержания оксида натрия относительно содержаний оксида калия обусловлены тем, что плагиоклазы доминируют над калиевыми полевыми шпатами. В алевролитах меньше содержания  $\text{SiO}_2$  — 63.1–68.1,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 1.8–3.4, но больше  $\text{TiO}_2$  — 0.6–0.74,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 14.7–17.0,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4.0–6.7,  $\text{K}_2\text{O}$  — 2.5–3.7. Превышение содержаний оксида калия над оксидами натрия в алевролитах объясняется большим количеством глинистой составляющей. На вариационных диаграммах видна разница между песчаниками и алевролитами (рис. 3). Повышенные содержания  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$  отмечаются в алевролитах «немой» толщи разреза.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД



**Рис. 3.** Положение фигуративных точек изученных пород на вариационных диаграммах: 1–4 — песчаники: 1 — верхневолжского подъяруса ( $J_3v_3$ ), 2 — верхневолжского подъяруса — рязанского яруса ( $J_3v_3-K_1r$ ), 3 — рязанского яруса ( $K_1r$ ), 4 — нижнего валанжина ( $K_1v_1$ ); 5–8 — алевролиты: 5 — верхневолжского подъяруса ( $J_3v_3$ ), 6 — верхневолжского подъяруса ( $J_3v_3$ , он же титонский ярус,  $J_3tt$ ) «немой» толщи, 7 — верхневолжского подъяруса — рязанского яруса ( $J_3v_3-K_1r$ ), 8 — рязанского яруса ( $K_1r$ ). Поля: I — песчаники, II — алевролиты, III — алевролиты «немой» толщи.

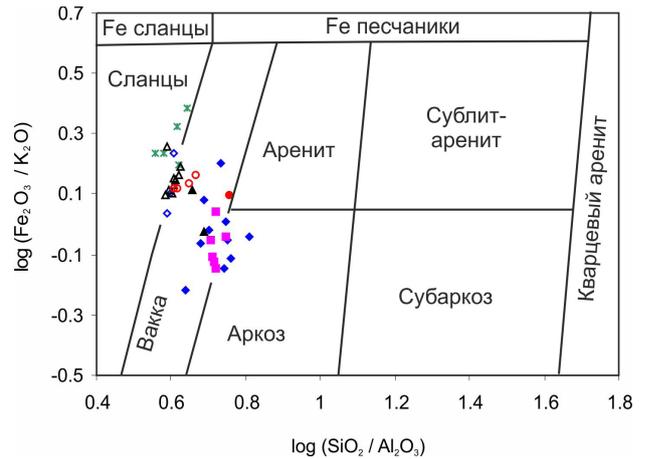
**Fig. 3.** Location of figurative points of the studied rocks in the variation diagrams: 1–4 — sandstones: 1 — Upper Volgian substage ( $J_3v_3$ ), 2 — Upper Volgian substage — Ryazan stage ( $J_3v_3-K_1r$ ), 3 — Ryazan stage ( $K_1r$ ), 4 — Lower Valgian ( $K_1v_1$ ); 5–8 — siltstones: 5 — Upper Volgian substage ( $J_3v_3$ ), 6 — Upper Volgian substage ( $J_3v_3$ , Tithonian stage,  $J_3tt$ ) of the «mute» rock strata, 7 — Upper Volgian substage — Ryazan stage ( $J_3v_3-K_1r$ ), 8 — Ryazan stage ( $K_1r$ ). Fields: I — sandstones, II — siltstones, III — siltstones of the «silent» rock strata.

По химической классификации М.М. Хиррона (Herron, 1988) песчаники являются вакками (граувакками), реже аркозами, алевролиты — сланцами и граувакками (рис. 4). На диаграмме химических составов исходных пород F1–F2 (Roser, Korsch, 1988) фигуративные точки составов всех песчаников попадают в поле кислых изверженных пород (рис. 5). В поле средних изверженных пород ложится лишь малая часть точек алевролитов, причем это в основном алевролиты «немой» толщи северной части разреза.

Поскольку характер распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) мало изменяется в процессе осадконакопления, его также используют для определения состава материнских пород источников питания. Средние концентрации элементов приведены в таблице. Суммарные содержания РЗЭ в изученных песчаниках невелики и колеблются от 103 г/т до 162 г/т (рис. 6). Их сумма меньше, чем в постархейском австралийском сланце (РААС) — 185 г/т (Интерпретация..., 2001), немного меньше по сравнению с алевропесчаниками Русской платформы — 140 г/т (Мигдисов и др., 1994).

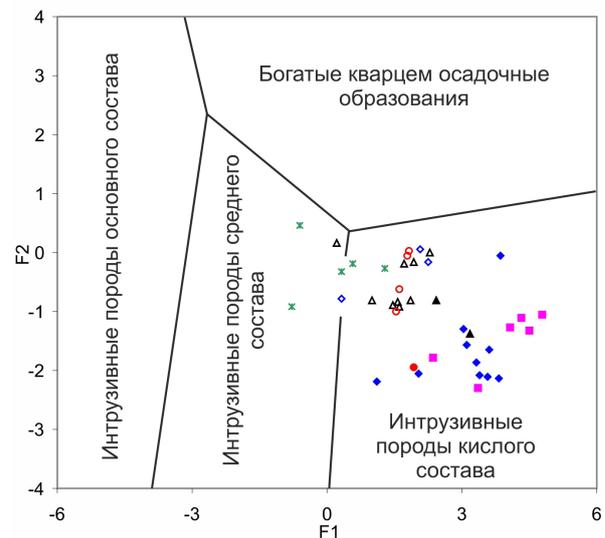
Резких различий концентраций РЗЭ в песчаниках и алевролитах не установлено, содержания РЗЭ в алевролитах лишь немного превышают содержания в песчаниках и колеблются от 117 до 184 г/т. Сумма РЗЭ в алевролитах меньше суммы в РААС. Следует отметить общую закономерную тенденцию уменьшения суммарных содержаний РЗЭ вверх по разрезу.

Отношение суммы легких лантаноидов ( $ЛРЗЭ = La+...+Eu$ ) к сумме тяжелых лантаноидов ( $ТРЗЭ = Gd+...+Lu$ ) в песчаниках изменяется от 8.2 до 11. В алевролитах значения  $ЛРЗЭ/ТРЗЭ$  ниже, чем в песчаниках, но внутри литотипа их колебания не очень велики — от 7.3 до 9.7. Породы характеризуются невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ( $La_N/Yb_N=7.0-12$ ), при этом, чем выше  $ЛРЗЭ/ТРЗЭ$ , тем более кислым был состав эродированных пород. По сравнению со средним значением  $ЛРЗЭ/ТРЗЭ$  в алевропесчаниках Русской платформы (8.2) это отношение в изученных песчаниках выше и показывает более кислый состав «комсомольских» песчаников.



**Рис. 4.** Классификационная диаграмма состава терригенных пород Комсомольского разреза, по (Herron, 1988). Условные обозначения см. на рис. 3.

**Fig. 4.** Classification diagram of the composition of the terrigenous rocks of the Komsomolsk section from (Herron, 1988). See Fig. 3 for symbols.



**Рис. 5.** Вероятный состав материнских пород областей питания для терригенных пород Комсомольского разреза на диаграмме F1–F2 по (Roser, Korsch, 1988). Условные обозначения см. на рис. 3.

**Fig. 5.** Probable composition of the provenience parent rocks for the terrigenous rocks of the Komsomolsk section, diagram F1–F2 from (Roser, Korsch, 1988). See Fig. 3 for symbols.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Средние содержания элементов в породах Комсомольского разреза (г/т)

Median element content in rocks of the Komsomolsk section (g/t)

Ярус	Песчаники				Алевролиты			
	Верхняя юра, волжский ярус	Верхняя юра, волжский ярус - нижний мел, рязанский ярус	Нижний мел, рязанский ярус (берриас)	Нижний мел, нижний валанжин	Верхняя юра, волжский ярус (=титон), «немая» толща	Верхняя юра, волжский ярус	Верхняя юра, волжский ярус - нижний мел, рязанский ярус	Нижний мел, рязанский ярус (берриас)
Индекс	J <sub>3</sub> v <sub>3</sub>	J <sub>3</sub> v <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> r	K <sub>1</sub> r	K <sub>1</sub> v <sub>1</sub>	J <sub>3</sub> v <sub>3</sub> =J <sub>3</sub> tt	J <sub>3</sub> v <sub>3</sub>	J <sub>3</sub> v <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> r	K <sub>1</sub> r
N	12	2	1	7	5	3	9	4
La	25.15	32.42	26.41	26.95	27.71	26.18	29.35	27.41
Ce	55.64	69.06	54.63	59.98	63.70	60.74	68.54	65.07
Pr	6.03	7.47	6.02	6.40	6.70	6.57	7.21	6.90
Nd	23.37	29.23	23.17	25.40	26.60	27.86	29.40	28.62
Sm	4.42	5.46	4.52	4.69	4.91	5.38	5.50	5.45
Eu	0.83	1.01	0.82	0.90	0.86	0.95	0.99	1.03
Gd	4.42	5.43	4.19	4.76	5.28	5.73	5.88	5.88
Tb	0.55	0.68	0.57	0.59	0.64	0.71	0.72	0.72
Dy	2.83	3.67	3.04	3.25	3.69	4.05	4.09	4.13
Ho	0.51	0.66	0.55	0.59	0.70	0.76	0.76	0.75
Er	1.70	2.10	1.80	1.84	2.16	2.38	2.38	2.29
Tm	0.24	0.30	0.26	0.26	0.29	0.33	0.33	0.31
Yb	1.70	2.09	1.77	1.79	2.11	2.40	2.39	2.17
Lu	0.25	0.31	0.27	0.27	0.30	0.34	0.34	0.31
Сумма	127.7	159.9	128.0	137.7	145.7	144.4	157.9	151.1
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	10.11	10.47	10.10	10.16	8.88	7.44	8.34	8.51
Eu/Eu*	0.58	0.57	0.58	0.58	0.52	0.52	0.53	0.56
Th	9.26	11.24	8.50	8.99	12.27	13.32	13.54	11.71
Cr	55.05	39.90	23.42	59.59	50.96	46.87	50.39	46.59
Zr	98.09	115.46	104.62	101.84	106.49	141.61	138.83	126.60
Sc	5.77	7.57	5.45	5.68	10.98	10.89	10.90	9.79

Примечание. N — число определений

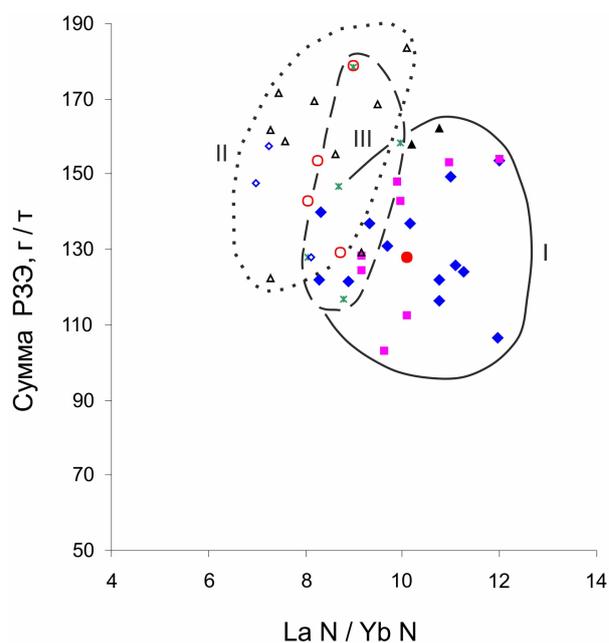
Note. N is the number of analyses

Значения больше 8 показывают кислый состав разрушаемых пород (Тейлор, 1988). Следовательно, материнские породы для изученных песчаников и алевролитов имели кислый состав.

Значения европиевой аномалии (Eu/Eu\* = Eu<sub>N</sub>/[(Sm<sub>N</sub>)(Gd<sub>N</sub>)<sup>1/2</sup>]) в песчаниках Комсомольского разреза варьируют от 0.5 до 0.65, средние 0.57–0.58; в алевролитах — от 0.49 до 0.58, средние 0.52–0.56. Показателем кислого состава материнских пород считают значение Eu/Eu\* меньше 0.9. Следовательно, в области питания

**Рис. 6.** Положение фигуративных точек пород Комсомольского разреза на диаграмме La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> — сумма РЗЭ. Условные обозначения и названия полей см. на рис. 3.

**Fig. 6.** Position of figurative points of rocks of the Komsomolsk section in the La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> diagram — Total REE. See Fig. 3 for symbols and field names.



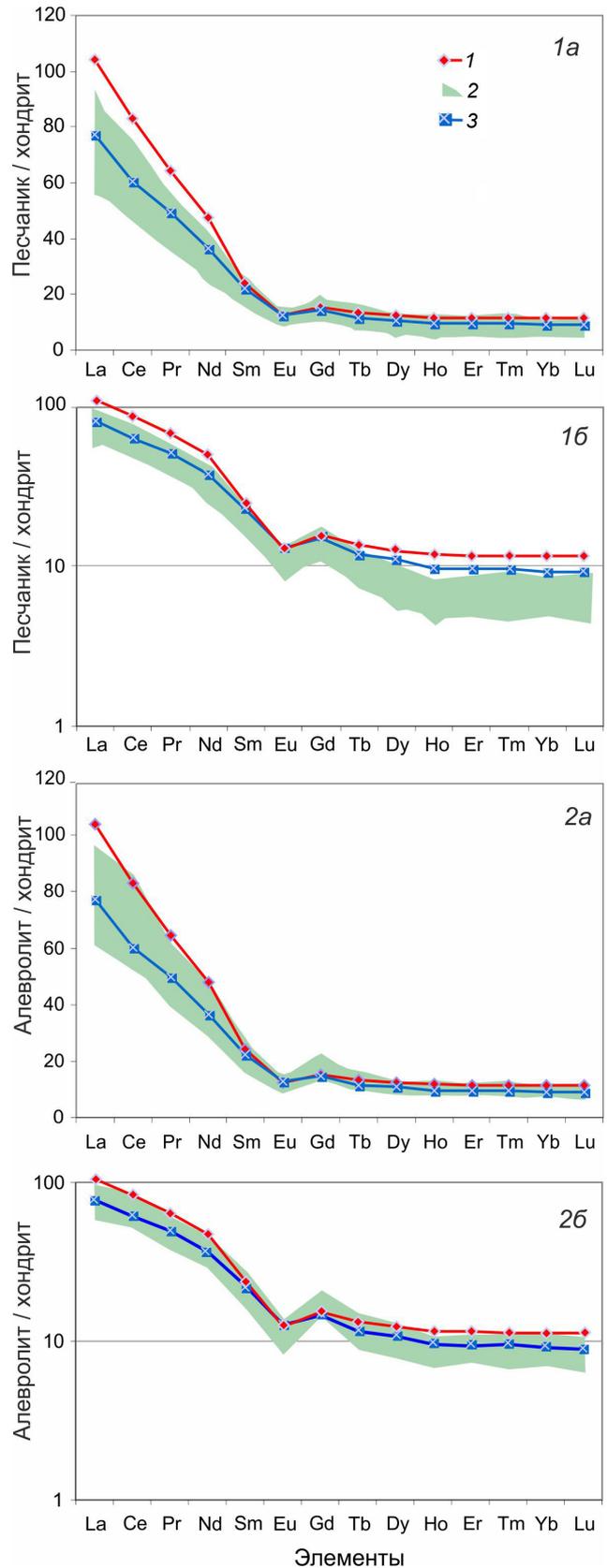
отложений, слагавших Комсомольский разрез, преобладали кислые породы.

Для удобства обработки полученных данных содержания РЗЭ нормируют по какому-либо из стандартов. Это позволяет сравнивать содержания и характер распределения РЗЭ в изученных породах с таковыми характеристиками в породах других объектов. Хотя предложено несколько составов пород в качестве стандартных, исследователи чаще всего нормируют содержания РЗЭ как в магматических, так и в осадочных породах, к составу хондрита.

Спектры распределения РЗЭ, нормированные к составу хондрита (Тейлор, Мак-Леннан, 1988), однотипны для всех образцов и схожи с графиками PAAS (рис. 7), а также алевропесчаников Русской платформы (Мигдисов и др., 1994). Для них характерны типичные для этих пород нормальные тренды распределения с умеренной степенью фракционирования, с преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми, а также хорошо выраженные отрицательные европиевые аномалии. В совокупности с числовыми характеристиками графики иллюстрируют кислый состав исходных пород.

В кислых магматических породах, по сравнению с основными породами, выше содержания РЗЭ, Th, Zr, но ниже — Ni, Cr, Co и Sc. Для распознавания типа и состава пород питающих провинций предложены диаграммы по отношениям La/Sc, La/Th, Th/Co, Zr/Sc, Th/Sc, Cr/Th. Судя по положению фигуративных точек изученных пород на диаграммах La/Sc-Th/Co, Zr/Sc-Th/Sc, Cr/Th-Th/Sc состав пород питающих провинций был кислым (рис. 8 а-в). Таким образом, терригенные отложения областей осадконакопления наследуют геохимические особенности эродированных пород. Состав пород размываемой территории играет значительную роль при распределении элементов в породах. Характер распределения породообразующих, малых и редкоземельных элементов в породах Комсомольского разреза показывает, что в бассейн седиментации поступали продукты

**Рис. 7.** Спектры распределения РЗЭ в породах Комсомольского разреза: 1 — в песчаниках (1а — обычная шкала, 1б — логарифмическая шкала), 2 — в алевролитах (2а — обычная шкала, 2б — логарифмическая шкала): 1–3 — графики и поля: 1 — PAAS (постархейский австралийский сланец), 2 — поле графиков изученных пород Комсомольского разреза, 3 — алевропесчаники Русской платформы по (Мигдисов и др., 1994).



**Fig. 7.** REE distribution spectra in rocks of the Komsomolsk section: 1 — in sandstones (1a — normal scale, 1b — logarithmic scale), 2 — in siltstones (2a — normal scale, 2b — logarithmic scale): 1–3 — plots and fields: 1 — PAAS (post-Archean Australian shale), 2 — field plots of the studied rocks of the Komsomolsk section, 3 — silt sandstones of the Russian Platform according to (Migdisov et al., 1994).

разрушения кислых интрузивных, метаморфических, кремнистых и обогащенных кварцем терригенных осадочных пород.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили расширить фактологическую базу данных о вещественном составе терригенных пород Комсомольского разреза.

По петрографическому составу песчаники относятся к граувакковым аркозам, полевошпатовым грауваккам, полевошпатовым породам. По химической классификации они являются вакками (граувакками), реже аркозами, алевролиты — сланцами и граувакками. Особенности петрографического состава песчаников свидетельствуют о преобладающем поступлении в бассейн осадконакопления обломочного материала кислого состава. Значения индексов F1 и F2, рассчитанные по содержаниям породообразующих оксидов, свидетельствуют о материнских интрузивных породах кислого состава.

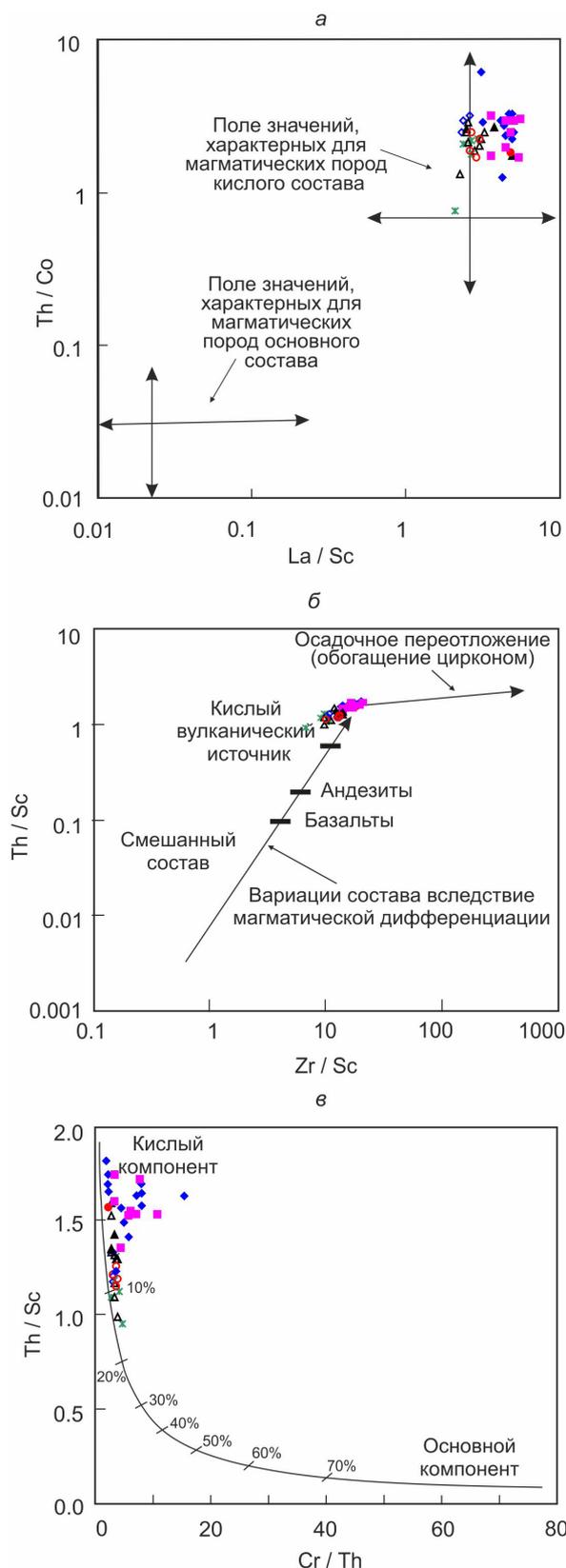
Отношения сумм легких и тяжелых РЗЭ, высокие значения отношения  $La_N/Yb_N$ , отчетливо выраженная отрицательная европиевая аномалия также подтверждают вывод о преобладающем кислом составе пород областей сноса.

Отношения малых элементов Th/Co, Zr/Sc, Th/Sc, Cr/Th говорят о том, что в источниках питания преобладали магматические породы кислого состава.

Таким образом, анализ всех имеющихся данных по вещественному составу терригенных пород Комсомольского разреза Северного Сихотэ-Алиня свидетельствует, что источниками кластики для изученных отложений были кислые интрузивные, метаморфические, кремнистые и обогащенные кварцем осадочные породы.

Автор благодарна О.С. Дзюбе, О.С. Урман, А.В. Кудымову, Г.Л. Кирилловой, П.А. Колтун, Г.А. Злобину за активное участие в полевых работах. Она признательна Т.Л. Карповой за техническую помощь в оформлении статьи, Л.Д. Песковой за английский перевод.

Публикация выполнена в рамках госзадания по теме НИР «Закономерности формирования континентальной коры восточной окраины Евразии в неогее: тектоника, вещественный состав, минерогения и палеогеодинамика» № гос. регистрации 121021000095-1.



**Рис. 8.** Источники обломочного материала для терригенных пород Комсомольского разреза на диаграммах: *a* — La/Sc-Th/Co, по (Cullers, 2002); *б* — Zr/Sc-Th/Sc, по (McLennan et al., 1993); *в* — Cr/Th-Th/Sc, по (Condie, Wronkiewicz, 1990). Условные обозначения см. на рис. 3.

**Fig. 8.** Sources of clastic material for the terrigenous rocks of the Komsomolsk section in the diagrams: *a* — La/Sc-Th/Co (Cullers, 2002); *б* — Th/Sc-Zr/Sc (McLennan et al., 1993); *в* — Th/Sc-Cr/Th (Condie, Wronkiewicz, 1990). See Fig. 3 for symbols.

## Список литературы [References]

- Васильев Д.А., Ивенсен Г.В., Ершова В.Б. и др.* Особенности химического состава нижнемеловых отложений северной части Приверхоанского краевого прогиба // Отечественная геология. 2013. № 5. С. 106–115 [Vasiliev D.A., Ivensen G.V., Ershova V.B. et al. Peculiarities of chemical composition of lower cretaceous rocks in the northern Priverkhoyansk foreland basin // Otechestvennaya geologiya. 2013. № 5. P. 106–115 (in Russian)].
- Интерпретация геохимических данных / Под ред. Е.В. Склярва. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с. [Interpretatsiya geokhimicheskikh dannyykh / Pod red. Ye.V. Sklyarova. Moskva: Intermet Inzhiniring, 2001. 288 p. (in Russian)].
- Канева Т.А., Никулова Н.Ю., Старикова Е.В.* Вещественный состав и условия образования верхнепротерозойских и верхнекембрийско-нижнеордовикских песчаников северо-западного Пай-Хоя // Вестник Института Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 4. С. 7–16. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2016-4-7-16> [Kaneva T.A., Nikulova N.Yu., Starikova E.V. Material composition and conditions of formation of upper proterozoic and upper cambrian-lower ordovician sandstones of the northwestern Pay-Khoy // Vestnik Instituta Komi NTS UrO RAN. 2016. №. 4. P. 7–16 (in Russian)].
- Кириллова Г.Л., Голозубов В.В., Гревцев А.В. и др.* Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с. [Kirillova G.L., Golozubov V.V., Grevtsev A.V. et al. Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East: in 2 books / Ed. by A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. 572 p. (in Russian)].
- Кириллова Г.Л., Варнавский В.Г., Натальин Б.А. и др.* Среднеамурский осадочный бассейн: геологическое строение, геодинамика, топливно-энергетические ресурсы / Отв. ред. Г.Л. Кириллова (Серия «Осадочные бассейны Востока России» / Гл. ред. А.И. Ханчук). Владивосток: ДВО РАН, 2009. Т. 3. 424 с. [Kirillova G.L., Varnavskiy V.G., Natal'in B.A. et al. The Middle Amur Sedimentary Basin: Geology, Geodynamics, Fuel and Energy Resources / G.L. Kirillova (eds.) (Series «Sedimentary Basins of East Russia» / Editor-in-Chief Academician A.I. Khanchuk). Vladivostok: FEB RAS, 2009. V. 3. 424 с. (in Russian)].
- Кириллова Г.Л., Кудымов А.В., Медведева С.А. и др.* Вести из экспедиции к Кузнецовскому тоннелю (северный Сихотэ-Алинь) // Вестник ОНЗ РАН. 2010. Вып. 11. [http://onznews.wdcb.ru/news10/info\\_101109.html](http://onznews.wdcb.ru/news10/info_101109.html) [Kirillova G.L., Kudymov A.V., Medvedeva S.A. et al. News from the expedition to the Kuznetsovsky tunnel (northern Sikhote-Alin) // Bulletin of ONZ RAS. 2010. Iss. 11. [http://onznews.wdcb.ru/news10/info\\_101109.html](http://onznews.wdcb.ru/news10/info_101109.html) (in Russian)].
- Маслов А.В.* Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с. [Maslov A.V. Osadochnye porody: metody izucheniya i interpretatsiya poluchennykh dannyykh. Yekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2005. 289 p. (in Russian)].
- Медведева С.А.* Возможность применения литохимии для сопоставления и корреляции отложений на примере Комсомольского разреза северного Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 4. С. 74–89. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-4-74-89> [Medvedeva S.A. Lithochemistry Potential for Comparison and Correlation of Deposits on the Example of the Komsomolsk Section in Northern Sikhote-Alin, Far East of Russia // Russian Journal of Pacific Geology. 2019. V. 13. № 4. P. 375–389. <https://doi.org/10.1134/S1819714019040055>].
- Медведева С.А.* Малые и редкоземельные элементы в осадочных породах Пиванского разреза (Хабаровский край) // Тез. докл. Всероссийская конференция с международным участием «Тектоника, глубинное строение и минерогения Востока Азии»: XI Косыгинские чтения, Хабаровск, 15–18 сентября 2021 / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. 2021. С. 205–207 [Medvedeva S.A. Small and rare earth elements in sedimentary rocks of the Pivan section (Khabarovsk Territory) // Abstracts of the report of the All-Russian conference with international participation «Tectonics, deep structure and minerageny of the East of Asia»: XI Kosygin readings, Khabarovsk, September 15–18, 2021 / Otv. ed. A.N. Didenko, Yu.F. Manilov. Khabarovsk: Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS. 2021. P. 205–207 (in Russian)].
- Мигдисов А.А., Балашов Ю.А., Шарков И.В. и др.* Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы // Геохимия. 1994. № 6. С. 789–803 [Migdisov A.A., Balashov Yu.A., Sharkov I.V. et al. Rasprostranennost' redkozemel'nykh elementov v glavnykh litologicheskikh tipakh porod osadochnogo chekhla Russkoy platformy // Geokhimiya. 1994. № 6. P. 789–803 (in Russian)].
- Попеко Л.И., Смирнова Ю.Н., Заика В.А., Сорокин А.А.* Источники кластического материала, условия накопления верхнепалеозойских шазагайтуйской и жипхосинской свит Чиронского прогиба (восточное Забайкалье) // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 4. С. 13–34. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-4-13-34> [Popeko L.I., Smirnova Yu.N., Zaika V.A., Sorokin A.A. Sources of Sediment Clasts and Depositional Environment of the Upper Paleozoic Shazagaitui and Zhipkhoshi Formations of the Chiron Basin, Eastern Transbaikalia // Russian Journal of Pacific Geology. 2019. V. 13, №. 4. P. 320–340. <https://doi.org/10.1134/S1819714019040079>].
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. Перевод с англ. М.: Мир, 1988. 384 с. [Taylor S.R., Mak-Lennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Perevod s ang. M.: Mir, 1988. 384 p. (in Russian)].
- Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др.* Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998. 352 с. [Shvanov V.N., Frolov V.T., Sergeeva E.I. et al. Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ikh analogov. SPb.: Nedra, 1998. 352 p. (in Russian)].

- Урман О.С., Дзюба О.С., Кириллова Г.Л. и др. Двустворчатые моллюски верхней юры-нижнего мела Комсомольского разреза (Дальний Восток): предварительные результаты // Тез. докл. Четвертое Всероссийское совещание «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии» / В.А. Захаров (отв. ред.), М.А. Рогов, А.П. Ипполитов (редколлегия). Санкт-Петербург, 26-30 сентября 2011 г. СПб.: ООО «Издательство ЛЕМА», 2011. С. 232–234 [Urman O.S., Dzyuba O.S., Kirillova G.L. et al. Upper Jurassic-Lower Cretaceous bivalves from Komsomolsky section (Far east of Russia): preliminary results of study // Jurassic System of Russia: Problems of stratigraphy and paleogeography. Fourth All-Russian meeting. September 26-30, 2011, St.-Petersburg. Scientific materials. / V.A. Zakharov (ch. ed.), M.A. Rogov, A.P. Ippolitov (eds.). St.-Petersburg: LEMA, 2011. P. 232–234 (in Russian)].
- Урман О.С., Дзюба О.С., Кириллова Г.Л. и др. Бухии и биостратиграфия пограничных юрско-меловых отложений в Комсомольском разрезе // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 5. С. 34–46 [Urman O.S., Dzyuba O.S., Shurygin B.N. et al. Buchia faunas and biostratigraphy of the jurassic-cretaceous boundary deposits in the Komsomolsk section (Russian Far East) // Russian Journal of Pacific Geology. 2014. V. 8. № 5. P. 346–359. <https://doi.org/10.1134/S1819714014050066>].
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A. The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // Earth and Planetary Science Letters. 1990. V. 97. Iss. 3–4. P. 256–267.
- Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 2002. V. 191. Iss. 4. P. 305–327. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
- Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sand and shales from core or log data // Journal of Sedimentary Petrology. 1988. V. 58. № 5. P. 820–829.
- Kirillova G.L., Natalin B.A., Zyabrev S.V. et al. Upper Jurassic-Cretaceous deposits of East Asian continental margin along the Amur River. Field excursion guidebook / G.L. Kirillova (Ed.). Khabarovsk: DVO RAN. 2002. 71 p.
- McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Geological Society of America. 1993. Special Paper 284. P. 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Roser B.P., Korsch R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data // Chemical Geology. 1988. V. 67. P. 119–139. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)

## GEOCHEMICAL FEATURES OF ROCKS OF THE WESTERN SIKHOTE-ALIN (KOMSOLOLSKY SECTION) AS INDICATORS OF THE COMPOSITION OF THE PARENTAL SOURCE ROCKS

S.A. Medvedeva

*Federal State Budget Academic Institution Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics,  
Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Khabarovsk, Russia, 680000, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

Received December 29, 2021; revised April 09, 2022; accepted June 27, 2022

The composition of the Late Mesozoic terrigenous rocks of the Komsomolsk reference section has been studied. According to the mineralogical-petrographic composition, the sandy rocks of the section belong to acidic greywacke and, partially, arkoses. The composition of the detrital material is dominated by silic minerals originating from granitoids and granite-gneiss. According to the rock-forming oxide content (in %), sandstones ( $\text{SiO}_2$  — 69–77,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 11.99–15.9,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 2.19–4.2) correspond to the acidic igneous rocks in the composition. In its turn, siltstones ( $\text{SiO}_2$  — 63.9–68%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 14.79–17.0%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4.09–6.7%) are located between medium and acid igneous rocks. According to the chemical classification sandstones belong to wackes and arkoses, and siltstones to shales and wackes. The total REE content in the studied sandstones ranges from 103 g/t to 162 g/t, in siltstones from 117 to 184 g/t. The relatively high ratios of light to heavy lanthanides in the studied rocks ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N=7.0-12.0$ ), as well as a fairly pronounced negative Eu anomaly, confirm the conclusion that the accumulation the Komsomolsk section was predominantly influenced by the eroded provenance composed of acidic igneous rocks.

*Keywords: Komsomolsk section, sandstones, siltstones, rock composition, Sikhote-Alin.*