

Литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений восточной части Мырговаамской и Раучуанской впадин, Западная Чукотка*

Е. В. Ватрушкина, М. И. Тучкова

Геологический институт Российской академии наук,
Российская Федерация, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7

Для цитирования: Ватрушкина, Е. В., Тучкова, М. И. (2020). Литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений восточной части Мырговаамской и Раучуанской впадин, Западная Чукотка. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 65 (4), 717–739.
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.407>

Накопление осадков в позднеюрско-раннемеловое время на юго-западной окраине Чукотского микроконтинента происходило в условиях активной тектонической обстановки. Выделенные в верхнеюрско-нижнемеловом интервале стратиграфические подразделения характеризуются сходством в строении разрезов, фациальной изменчивостью и недостаточным количеством надежных фаунистических датировок. Необходимость проведения детальных литологических исследований обусловлена прежде всего отсутствием единого подхода к стратиграфическому делению отложений. В статье приведены петрографические, геохимические и изотопно-геохимические характеристики верхнеюрско-нижнемеловых пород. Восстановлены этапы смены условий осадконакопления и источников сноса, определившие различия в строении разрезов и составе изученных толщ. Оксфорд-кимериджский разрез сложен отложениями песчаных потоков с аркозовым составом псаммитовых разностей. Среди их источников доминировали древние гранитоиды, второстепенными являлись терригенные отложения, вулканиты и метаморфические комплексы. Волжско-валанжинский интервал характеризуется накоплением осадков в различных частях подводных конусов выноса. В строении волжского разреза выделены пачки тонко-, средне- и грубозернистых турбидитов с линзами мелкогалечных конгломератов. Большое количество синхронного пирокластического материала в составе пород указывает на активную вулканическую деятельность. В волжское время в питающей провинции преобладали вулканиты, преимущественно основного и среднего составов, терригенные породы присутствовали в меньшем количестве. Берийский разрез сложен тонкозернистыми турбидитами с единичными горизонтами среднезернистых турбидитов и линзами гравелитов, а также склоновыми отложения в виде пачек ритмичного чередования песчаников и аргиллитов с текстурами оползания осадка. Псаммитовые разности имеют грауваковый состав и содержат примесь пеплового материала в матриксе. Основными источниками для отложений берийского возраста служили терригенные породы и вулканогенные комплексы кислого состава. Валанжинский разрез представлен пачками тонко- и среднезернистых турбидитов с горизонтами амальгамированных песчаных слоев. Песчаники по соотношению породообразующих компонентов относятся к аркозам. Домини-

* Работа выполнена в рамках Государственного задания Геологического института РАН при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 18-77-10073).

рующим источником в валанжинское время являлись древние гранитоиды, второстепенными — терригенные породы и вулканиты.

Ключевые слова: верхняя юра — нижний мел, песчаные потоки, турбидиты, петрография, геохимия осадочных пород, источники сноса, Западная Чукотка.

1. Введение

Верхнеюрско-нижнемеловые преимущественно терригенные отложения слагают несколько впадин в пределах Чукотского террейна (рис. 1). Они с угловым несогласием, а местами и с тектоническим контактом, залегают на триасовых турбидитах. Перерыв в осадкообразовании в ранне-среднеюрское время маркирует крупную структурную перестройку в Арктическом регионе, связанную с раскрытием Американо-Азиатского бассейна. Накопление верхнеюрско-нижнемеловых отложений на юго-западной окраине Чукотского микроконтинента происходило синхронно и под влиянием процессов, связанных с его сближением с активной окраиной Сибири. Активная тектоническая обстановка со сменой геодинамических режимов способствовала резкой смене источников сноса и условий осадконакопления.

Первостепенной задачей при изучении верхнеюрско-нижнемеловых отложений является их стратиграфическое расчленение. В результате проведения геологосъемочных работ (Белик, 1960; Телегин, 1995; Баранов и Журавлев, 2000) в их составе было выделено несколько подразделений от оксфордского до валанжинского ярусов. Несмотря на наличие актуальной и достаточно обоснованной схемы стратиграфического деления (Корень и Котляр, 2009), составленной по отдельным разрезам, содержащим ископаемые фаунистические остатки, на практике верхнеюрско-нижнемеловые отложения достаточно сложно расчленить. И. В. Тибилов, основываясь на литологическом сходстве и в ряде мест на низкой фаунистической охарактеризованности разрезов, предложил объединить все отложения впадин, в том числе и ранее расчлененные, в мырговаамскую серию оксфорд-валанжинского возраста (Тибилов и Черепанова, 2001). Авторы признали литостратиграфический подход геологически несостоятельным, поскольку фациальная невыдержанность и крайняя неоднородность находок бухиевой фауны привели к весьма субъективному расчленению рассматриваемых отложений при геологическом картировании.

Актуальность исследования верхнеюрско-нижнемеловых пород с использованием современных методик обусловлена необходимостью получения новых данных о составе и строении этих толщ. Для решения проблемы стратиграфического деления и корреляции разрозненных выходов выявлены отличительные особенности ранее выделенных подразделений. Определены этапы смены источников сноса и условий осадконакопления. Детальные литологические характеристики приведены с целью формирования сравнительной базы для изучения позднеюрско-раннемелового интервала, отмеченного обширным осадконакоплением на всей территории Восточной Арктики.

2. История изучения

Изучаемая территория располагается в 90 км на северо-восток от г. Билибино (Чукотский автономный округ) на правом берегу верхнего течения р. Раучуа. Этот район интересен по двум причинам. Во-первых, здесь на небольшой площади по отдельным выходам составлен полный разрез верхнеюрско-нижнемеловых отложений. Во-вторых, перспективность территории на обнаружение коренного и россыпного золота способствовала проведению крупномасштабных картировочных работ.

В 1960 г. была опубликована первая обобщающая работа по стратиграфии и тектонике Раучуанского прогиба, с формированием которого авторы связывают накопление изучаемых осадков (Городинский и Паракецев, 1960). В составе верхнеюрско-нижнемеловых отложений авторы выделили нетпнейвеемскую свиту (поздняя юра) и утувеемскую и погынденскую свиты (валанжин). Такая схема стратиграфического деления была использована и при составлении первой геологической карты масштаба 1:200 000 (Белик, 1960). В 1966 г. на основании находок разновозрастной фауны было выдвинуто предположение, что в бассейне р. Раучуа имеются две разновозрастные толщи аркозовых песчаников: одна относится к оксфорд-кимериджскому времени (раучуанская свита), а другая — к валанжину (погынденская свита) (Паракецов и Городинский, 1966). Впервые все имеющиеся данные по строению и стратиграфии верхнеюрско-нижнемеловых отложений Северо-Востока СССР были обобщены К. В. Паракецовым и Г. И. Паракецовой (1989). В пределах Раучуанского прогиба ими были выделены Мырговаамская впадина оксфорд-кимериджского времени заложения, где распространена раучуанская свита, и более молодая Раучуанская, выполненная отложениями волжско-валанжинского возраста (нетпнейвеемская, утувеемская и погынденская свиты) (рис. 1).

В 1987–1992 гг. на рассматриваемой территории проведены работы по геологическому доизучению площадей масштаба 1:50 000 (Телегин, 1995). В результате крупномасштабных исследований было получено большое количество фактического материала, разработаны детальные стратиграфические схемы с расчленением до подсвит и пачек. При составлении новой геологической карты масштаба 1:200 000 (Баранов и Журавлев, 2000) была обобщена вся информация о строении разрезов и возрасте верхнеюрско-нижнемеловых отложений изучаемого района. С помощью скважин и канав были изучены взаимоотношения выделенных подразделений.

Целесообразность проведения более детальных исследований с применением современных литологических методов объясняется необходимостью увязки ранее опубликованных геологических карт, поскольку их авторы руководствовались разными взглядами на геологическую историю и разделение стратифицированных образований. Работы предшественников также лишены седиментологических данных, указывающих на условия накопления позднеюрско-раннемеловых осадков.

3. Результаты исследований

Фактический материал был собран в ходе полевых работ 2011 г. (рис. 2). Проведено детальное описание разрезов всех подразделений с выявлением основных седиментологических характеристик, отобраны образцы для дальнейшего изучения

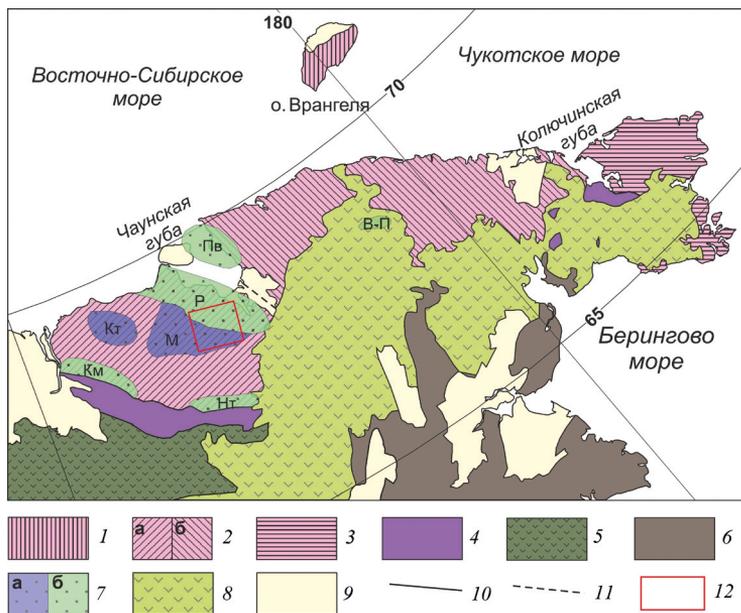


Рис. 1. Положение верхнеюрско-нижнемеловых впадин на схеме основных тектонических элементов Чукотского региона, по (Sokolov, 2010) с изменениями:

1–4 — Чукотская складчатая область (1 — Новосибирско-Врангелевская складчатая система, 2 — Анюйско-Чукотская складчатая система, в том числе субтеррейны Чукотского террейна: а — Анюйский, б — Чаунский; 3 — Беринговский террейн, 4 — Южно-Анюйская складчатая система); 5 — Верхояно-Колымская складчатая область, Алазейско-Олойская складчатая система; 6 — Корякско-Камчатская складчатая область; 7 — верхнеюрско-нижнемеловые впадины, по (Паракецов и Паракецова, 1989): а — оксфорд-кимериджские (Кт — Китепвеевская, М — Мырговаамская), б — волжско-валанджинские (Р — Раучуанская, Пв — Певекская, В-П — Верхне-Пеггымельская, Км — Камешковская, Нт — Нутесынская); 8 — Охотско-Чукотский вулканический пояс; 9 — кайнозойский осадочный чехол; 10 — тектонические границы; 11 — границы, скрытые перекрывающим комплексом; 12 — район работ

комплексом литологических методов. При интерпретации седиментологических данных использовались классификации, обобщенные в работе (Shanmugam, 2000). Методика лабораторных исследований отражена в прил. 4.1¹.

3.1. Строение разрезов

Самыми древними образованиями позднеюрско-раннемелового возраста являются отложения раучуанской свиты (рис. 3). Возраст свиты определен как оксфорд-кимериджский благодаря находкам бухиевой фауны на сопредельных территориях (Паракецов и Паракецова, 1989). В небольшом естественном обнажении

¹ Здесь и далее приложения 4.1–4.4 можно найти по электронному адресу: <https://escjournal.spbu.ru/article/view/7975/6826>. Приложения даны в авторской редакции.

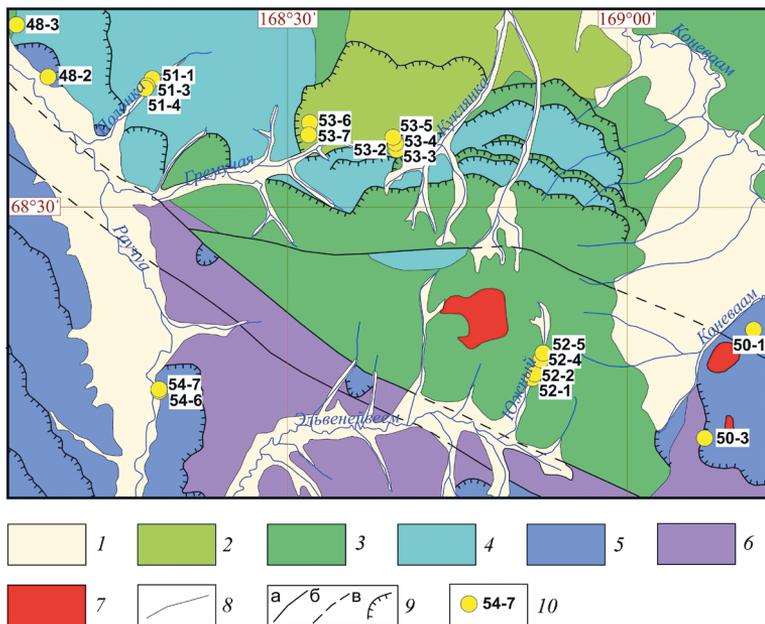


Рис. 2. Положение точек наблюдения на геологической основе, по (Баранов и Журавлев, 2000) с изменениями:

1 — четвертичные образования; 2 — погынденская свита; 3 — утувемская свита; 4 — нетпнейвеемская свита; 5 — раучуанская свита; 6 — триасовые отложения; 7 — меловой интрузивный комплекс; 8 — геологические границы; 9 — тектонические нарушения (а — установленные разломы, б — разломы, скрытые перекрывающими отложениями, в — надвиги); 10 — точки наблюдения полевых работ 2011 г.

вдоль борта р. Рауча (точка наблюдения (т. н.) 48-2, рис. 2) установлен тектонический контакт раучуанской свиты и отложений норийского возраста (мачваамская свита), выраженный зоной дробления мощностью 5 м. В триасовых тонкозернистых породах были отмечены будины песчаников, имеющих схожие петрографические характеристики с аркозами раучуанской свиты (см. раздел 3.2.1). Также изучены два выхода в правом борту р. Рауча (т. н. 54-6,7) и делювиальные развалы в верховьях р. Коневаам (т. н. 50-1,3). Отсутствие протяженных обнажений связано с формой залегания песчаников в виде пакета пластин, надвинутых одна на другую (Баранов, 1995). Трудности при корреляции разрозненных выходов обусловлены однородностью состава и строения толщи. В коренном залегании обнажаются массивные песчаники с видимой мощностью 5–7 м. В т. н. 54-6 они содержат угловатые обломки аргиллитов размером от 2 до 5 мм (рис. 3). В делювиальных развалах помимо вышеперечисленных разностей встречены глыбы, сложенные переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов в градационной последовательности с преобладанием псаммитов. Мощность ритмов изменяется от 20 до 50 см. В песчаниках пачек переслаивания наблюдается косо волнистая и конволютная слоистость.

Пачки массивных песчаников, содержащие мелкие угловатые обломки аргиллитов, характерны для отложений песчаных (обломочных) потоков. Градационные

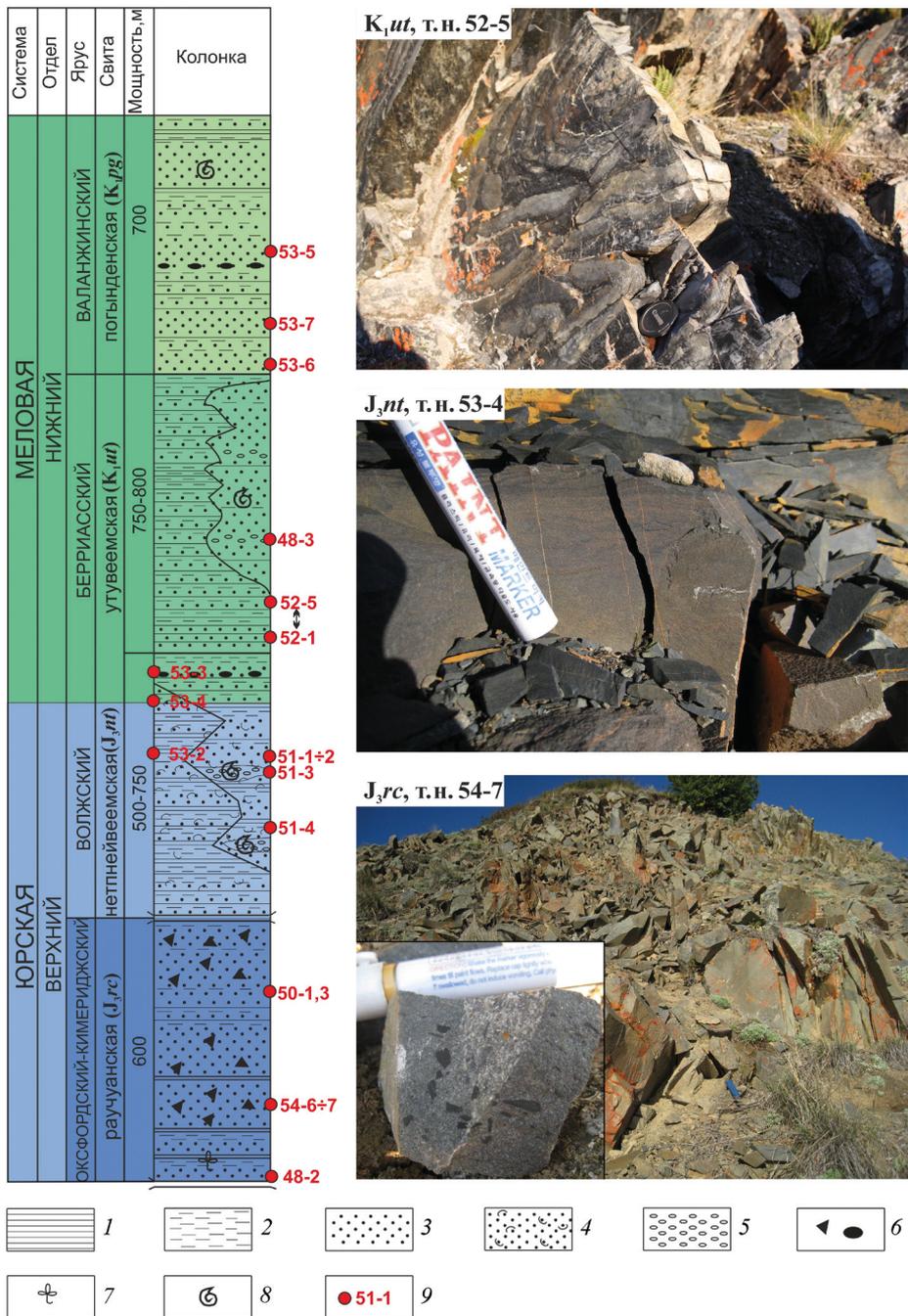


Рис. 3. Строение разреза верхнеюрско-нижнемеловых отложений правобережья верхнего течения р. Раучуа:

1 — аргиллиты; 2 — алевролиты; 3 — песчаники; 4 — туфопесчаники; 5 — конгломераты; 6 — обломки аргиллитов; 7 — растительный детрит; 8 — фауна; 9 — точки наблюдения полевых работ 2011 г.

ритмы с косоволнистой и конволютной слоистостью соответствуют последовательности Боума и классифицируются как среднезернистые турбидиты.

Нетпнейвеемская свита несогласно залегает на триасовых турбидитах. На водоразделе рр. Гремучая и Куклянка по данным бурения установлено, что отложения нетпнейвеемской свиты надвинуты на более молодые раннемеловые породы (Баранов и Журавлев, 2000). Нетпнейвеемская свита надежно датирована фауной. Комплекс ископаемых остатков, включающих *Buchia* cf. *piochii* (Gabb), *B.* cf. *rugosa* (Fisch.), *B.* cf. *mosguensis* (Buch), *B.* cf. *terebratuloides* (Lah.), *B.* aff. *circula* (Parak.), *B.* cf. *lindstroemi* (Sok.), *B.* aff. *orbicularis* (Hyatt), *B.* ex gr. *lahuseni* (Pavl.), *B.* *fischeriana* (Orb.), *B.* cf. *tennicollis* (Pavl.), *B.* cf. *flexuosa* (Parak.), *B.* aff. *crotovi* (Pavl.) свидетельствует о волжском возрасте вмещающих пород (Паракецов и Паракецова, 1989; Телегин, 1995; Баранов и Журавлев, 2000).

Низы разреза свиты изучены по непротяженным разрозненным выходам в правом борту р. Полонка (т. н. 51-1÷4). Здесь можно выделить следующие фациальные разновидности (рис. 3.).

1. Средне- и мелкозернистые песчаники, алевролиты и аргиллиты, которые формируют градационные последовательности от 8 до 50 см. Мощность песчаников в самых крупных ритмах достигает 40 см, в среднем составляет 3–8 см. Для средних частей ритмов характерна косоволнистая и конволютная слоистость. Также встречаются сокращенные последовательности, без песчаников в основании.
2. Мелкогалечные конгломераты, слагающие линзовидные тела в пачках переслаивания тонкозернистых разностей. Максимальная мощность конгломератов составляет 1.5 м.
3. Гравелиты, песчаники, алевролиты и аргиллиты, формирующие градационные последовательности с преобладанием псаммитовых разностей. В песчаниках или гравелитах из нижней части ритма часто присутствуют класты глин и пламевидные текстуры. Также встречаются линзовидные прослои крупнозернистых гравелитов мощностью до 20 см.

Верхние части разреза обнажаются на водоразделе рр. Гремучая и Куклянка (т. н. 53-2÷4). Здесь в единичных коренных выходах в склоне и двух канавах предшественников изучены следующие типы последовательностей.

1. Тонкое ритмичное переслаивание мелкозернистых песчаников и аргиллитов с преобладанием последних. Мощность песчаников не выдержана по простиранию, редко достигает 5 см.
2. Мелкозернистые песчаники, алевролиты и аргиллиты, которые формируют градационные последовательности от 5 до 40 см с характерной косоволнистой слоистостью в центральной части (рис. 3). Мощность песчаников редко достигает 20 см. Также встречаются сокращенные последовательности без песчаников в основании.
3. Песчаники, алевролиты и аргиллиты, формирующие градационные последовательности с преобладанием псаммитов. Для пачки характерно несколько крупных градационных ритмов с крупнозернистыми песчаниками в основании, содержащими изометричные обломки аргиллитов до 3 см. Мощность ритмов от 20 до 80 см.

В разрезе нетпейвеемской свиты выделяются пачки мелко-, средне-, крупнозернистых турбидитов, ритмичного чередования песчаников и аргиллитов (межтурбидитные интервалы), а также линзы мелкогалечных конгломератов. Такое сочетание последовательностей характерно для различных частей подводных конусов выноса.

Утувеемская свита согласно перекрывает нетпейвеемскую свиту. Разные представления о строении разреза свиты и составе слагающих ее пород обусловлены неоднородностью распределения ископаемой фауны и резкой фациальной изменчивостью. Отложения свиты содержат сравнительно редкие остатки бухий *Buchia* ex gr. *lahuseni* (Pavl.), *B. cf. terebratuloides* (Lah.), *B. cf. okensis* (Pavl.), *B. cf. volgensis* (Lah.), *B. cf. sibirica* (Sok.), *B. cf. unschensis* (Pavl.), *B. ex. gr. fischeriana* (Orb.), которые, по заключению К.В. Паракецова, свидетельствуют о берриас-ранневаланжинском возрасте пород.

В ходе полевых работ 2011 г. было описано два коренных выхода, относимых авторами к утувеемской свите. Их отличительной особенностью является присутствие псаммитовых и псефитовых разностей с большим содержанием обломков высокоуглеродистых аргиллитов и алевролитов, что придает породам характерный темно-серый цвет.

В правом борту р. Раучуа (т. н. 48-3, рис. 2) изучен небольшой коренной выход. Нижняя часть разреза мощностью 1.3 м представлена массивными крупно- и среднезернистыми песчаниками с плохо различимой градационной слоистостью. Верхняя часть мощностью 0.6 м сложена переслаиванием мелкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов в градационной последовательности. Выше в осыпи встречаются крупные глыбы размером до 50 см мелко- и среднезернистых гравелитов.

В левом борту р. Южный описано несколько непротяженных выходов (т. н. 52-1÷5). Представленные здесь отложения литологически схожи и местами сильно деформированы. Тем не менее в разрезе отчетливо выделяются три основные пачки.

1. Тонкое ритмичное чередование горизонтально слоистых мелкозернистых песчаников и аргиллитов. Мощность песчаных прослоев составляет от 1 до 8 см, в единичных случаях достигает 30 см. В псаммитовых разностях также наблюдается линзовидно-волнистая слоистость.
2. Чередование пачек тонкого переслаивания песчаников и аргиллитов с пачками песчаников, алевролитов и аргиллитов, образующих градационные последовательности. Для средних частей градационных ритмов характерны косая, косоволнистая и конволютная слоистость. Мощность ритмов от 5 до 30 см.
3. Тонкое ритмичное переслаивание мелкозернистых песчаников и аргиллитов, реже маломощные градационные последовательности, с текстурами оползания осадка (рис. 3).

Утувеемская свита в т. н. 48-3 представлена мелко- и среднезернистыми турбидитами с линзами гравелитов, которые можно интерпретировать как отложения подводных конусов выноса. В т. н. 52-1÷5 обнажаются пачки тонкого ритмичного чередования песчаников и аргиллитов и тонкозернистые турбидиты с текстурами

оползания осадка, характерные для склоновых отложений. Замеры складок оползания указывают на преимущественное направление погружения склона палеобассейна и сноса материала с юга на север в современных координатах.

Осложняющим фактором при изучении *погынденской* свиты является отсутствие на рассматриваемой территории коренных выходов. В ходе полевых работ отложения были изучены по элювиально-делювиальным развалам (т. н. 53-6÷7) и кернам из скважин предшественников (т. н. 53-5) в верховьях р. Гремучая. Отложения датированы единичными находками *Buchia cf. inflata* (Toula) (Телегин, 1995), что свидетельствует о валанжинском возрасте свиты.

В результате изучения керна скважин разрез свиты представляется следующим образом. Мощные пачки песчаников до 7 м часто с косоволнистой слоистостью и кластами глин чередуются с пачками (мощностью до 1.5 м) песчаников, алевролитов и аргиллитов в градационной последовательности. Градационные ритмы характеризуются конволютной и косоволнистой слоистостью в центральных частях и горизонтальной в аргиллитах. Мощность ритмов от 10 до 60 см.

Мощные пачки песчаников с горизонтами крупных уплощенных аргиллитовых интракластов, как правило, образуются в результате амальгамирования песчаных слоев. Градационные последовательности, выделенные в разрезе, соответствуют тонко- и среднезернистым турбидитам.

3.2. Литологическая характеристика

3.2.1. Петрографический состав

Песчаники *раучуанской* свиты имеют аркозовый состав (рис. 4). Степень окатанности материала разная. Объем цемента в среднем составляет 5–10%. Первичный цемент по составу глинистый с примесью вулканического материала, часто почти полностью замещен чешуйчатыми агрегатами слюдистых минералов, местами хлоритом. Для отдельных образцов характерно наличие вторичного карбоната, развивающегося по цементу и полевым шпатам.

Подсчет обломочных зерен показал, что среди породообразующих компонентов преобладают полевые шпаты, количество которых достигает 60%. Кварцевые зерна составляют 25–35%, а литокласты — от 5 до 10% от общего количества диагностированных обломков. В песчаниках также содержится от 3 до 8% слюдистых минералов (преимущественно биотита и в меньшей степени белых слюд) и до 1% эпидота.

Кварц представлен главным образом неокатанными и плохоокатанными монокристаллическими разностями с волнистым погасанием (рис. 5, а). Часть песчаников содержит до 5% остроугольных зерен кварца с треугольным габитусом и резорбированными контурами, что указывает на его вулканический генезис. Также в породе присутствуют поликристаллическая разновидность кварца с изрезанными лапчатыми контурами и кварцевые зерна с включениями рутила. Подобные типы кварца характерны для древних гранитоидов (Симанович, 1978).

Среди полевых шпатов преобладают плагиоклазы. Они представлены в основном мелкими неокатанными кристаллами таблитчатой формы и более крупными разновидностями, которые в большей степени окатаны и подвержены вторичным

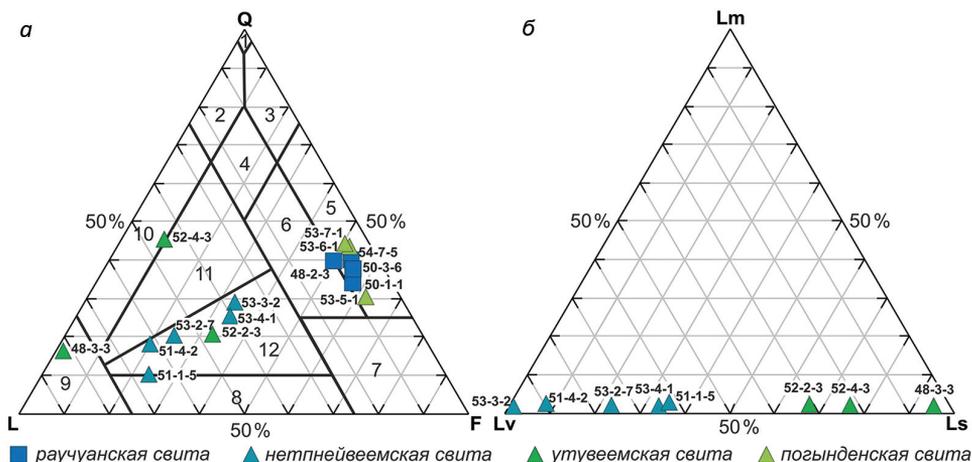


Рис. 4. Петрографический состав верхнеюрско-нижнемеловых песчаников: а — классификационная диаграмма типов песчаных пород, поля нанесены по данным (Шутов и др., 1972); б — диаграмма, иллюстрирующая соотношение обломков пород различного генезиса в песчаниках.

На а: Q — кварц, F — полевые шпаты, L — обломки пород. Поля классификационной диаграммы: 1 — мономинеральные кварцевые; 2 — кремнекласитно-кварцевые; 3 — полевошпатово-кварцевые; 4 — мезомикто-кварцевые; 5 — собственно аркозы; 6 — граувакковые аркозы; 7 — кристаллотуфы; 8 — полевошпатовые граувакки; 9 — собственно граувакки; 10 — кварцевые граувакки; 11 — полевошпатово-кварцевые граувакки; 12 — кварцево-полевошпатовые граувакки.

На б: Ls — обломки осадочных пород, Lv — обломки вулканического происхождения, Lm — обломки магматических и метаморфических пород

изменениям. Калиевые полевые шпаты представлены микроклином, нередко с отчетливой микроклиновой решеткой.

Преобладающая часть литокластов — вулканиты, преимущественно средне-го и кислого составов. Они представлены свежими, неизмененными разновидностями. Вулканиты с низким содержанием кремнезема присутствуют в виде измененных и более окатанных обломков с реликтами вулканогенной структуры. Для песчаников также характерно наличие как обломков вулканического стекла, так и выполненные им интерстиции. Обломки терригенных пород представлены часто кливажированными высокоуглеродистыми аргиллитами, алевролитами и мелкозернистыми песчаниками. Также в аркозах встречаются кварц-полевошпатовые сростки и единичные обломки кварцево-сланцев.

Песчаники из будины (обр. 48-2-3) по составу также соответствуют аркозам раучанской свиты, отличительной особенностью является большее содержание (до 10%) обломков вулканитов различного состава.

Состав и соотношение породообразующих компонентов в оксфорд-кимериджских песчаниках указывают на их накопление за счет размыва преимущественно гранитоидов, предположительно древних. Дополнительными источниками сноса для раучанской свиты являлись вулканиты и терригенные породы.

Среди псаммитовых разновидностей *нетпневской* свиты преобладают туфопесчаники. Наибольшее количество терригенного материала содержат песчаники из образцов 51-1-5, 51-4-2, 53-2-7, 53-4-1 и 53-3-2, по классификации В. Д. Шуто-

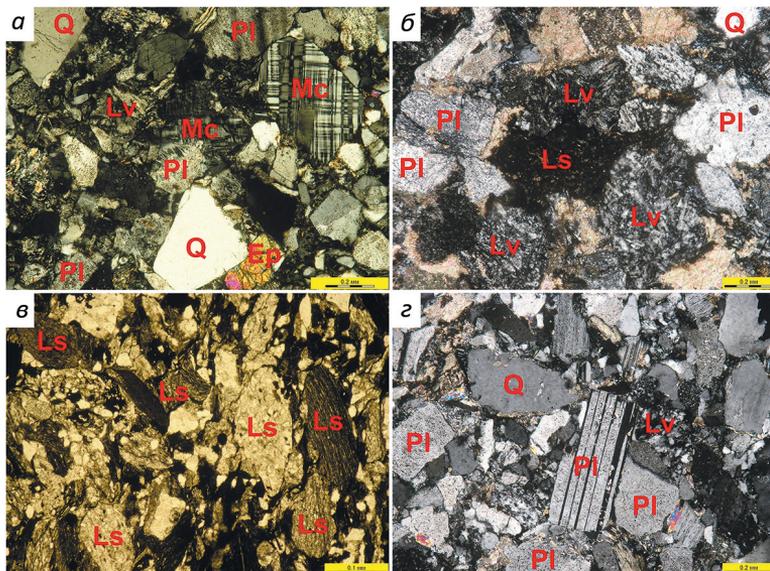


Рис. 5. Микрофотографии типовых верхнеюрско-нижнемеловых песчаников: а — раучанской свиты (образец 50-1-1); б — нетпневеевской свиты (образец 51-4-2); в — утуевеимской свиты (образец 48-3-3); з — погынденской свиты (образец 53-5-1).

Q — кварц, Pl — плагиоклаз, Mc — микроклин, Ep — эпидот, Lv — обломки вулканитов, Ls — обломки терригенных пород

ва (Шутов и др., 1972) их можно отнести к кварцево-полевошпатовым грауваккам (рис. 4).

Песчаники имеют среднюю степень сортированности, обломки в основном плохо окатаны или неокатаны. Общий объем матрикса обычно не превышает 5%, по составу глинистый с высокой долей пеплового материала. Поровое пространство выполнено раскристаллизованным вулканическим стеклом. Первичный цемент преобразован в хлорит-иллитовый агрегат. Вулканическое стекло замещено хлоритом с аномальными голубыми интерференционными окрасками. Количество вторичного карбоната островного типа, развитого по цементу и полевым шпатам, составляет 10%, в образце 53-4-1 увеличивается до 30%.

Породообразующие компоненты представлены кварцем (10–20%), полевыми шпатами (20–30%) и обломками пород (60–70%). Преобладает кварц с ровным погасанием, резорбированными контурами. Поликристаллические разновидности находятся в подчиненном количестве. Полевые шпаты представлены кристаллокластами плагиоклаза различной формы со следами растворов и реже полисинтетическим двойникованием (рис. 5, б).

Среди обломков пород преобладают вулканиты (до 98%), преимущественно среднего и основного, реже кислого (не более 10%) состава (рис. 4). Максимальное количество обломков терригенных пород наблюдается в образце 51-1-5, где достигает 35%. Они представлены высокоуглеродистыми кливажированными аргиллитами, реже тонкозернистыми алевролитами, располагающимися конформно по отношению к другим зернам.

В образцах 53-4-1 и 53-3-2 количество матрикса увеличивается до 10–15%. Здесь он замещен кварц-хлорит-иллитовым агрегатом. Среди породообразующих компонентов преобладают мономинеральные зерна кварца и полевых шпатов, количество обломков уменьшается до 40%.

Таким образом, отложения нетпейвеемской свиты накапливались за счет размыва преимущественно вулканитов, а также терригенных пород и содержат значительную долю синхронного пирокластического материала.

По классификации В. Д. Шутова (Шутов и др., 1972) песчаники *утувеемской* свиты относятся к кварцевым и кварцево-полевошпатовым грауваккам (рис. 4). Породы имеют среднюю степень сортированности, обломки в основном плохо окатаны или неокатаны. Матрикс глинистый с примесью или высокой долей пеплового материала. Его количество составляет 5%, а в образце 52-2-3 достигает 20%. Первичный матрикс преобразован в кварц-хлорит-иллитовый агрегат. Вторичный карбонат развит по полевым шпатам, его количество не превышает 5%.

Среди породообразующих компонентов преобладают обломки пород (от 46 до 82%). Мономинеральные зерна представлены кварцем (от 17 до 44%) и полевыми шпатами (от 1 до 32%). В т. н. 48-3 диагностированы мономинеральные и поликристаллические разновидности кварца, в основном жильного облика, что особенно отчетливо наблюдается в гравелитах. В образцах из т. н. 52-1÷5 присутствуют кристаллокласты кварца с резорбированными контурами, характерные для вулканогенных пород. Зерна полевых шпатов редко сдвойникованы, чаще встречаются в виде измененных разностей неправильной формы.

Среди литокластов преобладают аргиллиты и алевролиты с высоким содержанием углистого детрита (рис. 5, в). Терригенные обломки в различной степени кливажированы и изменены, местами вплоть до кварцитов и кварцево-сланцев. Обломки вулканитов представлены кислыми разновидностями.

В псаммитах т. н. 48-3 доминируют обломки аргиллитов, алевролитов и жильного кварца, они образованы за счет размыва преимущественно источника, сложенного терригенными породами как минимум предыдущего цикла седиментации, подвергшимися деформациям и гидротермальной проработке. В песчаниках разреза 52-1÷5 одновременно с увеличением доли обломков кислых вулканитов возрастает количество неокатанных кристаллокластов кварца и плагиоклаза со следами растворения. Эти отложения формировались вследствие размыва как терригенного, так и вулканогенного источников. Большое количество пеплового материала в матриксе свидетельствует об их накоплении в условиях синхронной вулканической деятельности.

Большинство псаммитовых разностей *погынденской* свиты правильнее отнести к алевропесчаникам, в которых содержание обломков размером более 0.1 мм составляет от 50 (обр. 53-6-1) до 80% (обр. 53-5-1). Песчаники по классификации В. Д. Шутова (Шутов и др., 1972) относятся к аркозам (рис. 4). Породы имеют плохую степень сортированности, обломки, как правило, неокатаны или плохо окатаны. Количество глинистого матрикса составляет от 5 до 10%. Первичный цемент преобразован в кварц-хлорит-иллитовый агрегат. Вторичный карбонат (не более 10%) развит по цементу и полевым шпатам. Редко встречающееся вулканическое стекло заполняет интерстиционное пространство.

Песчаники сложены кварцем (30–50%), полевыми шпатами (44–60%), обломками пород (3–9%) и слюдистыми агрегатами (1–2%). Необходимо отметить, что количество кварца возрастает в алевропесчаниках с более низким содержанием обломков псаммитовой размерности.

Кварц представлен моно- и поликристаллическими разновидностями, часто наблюдаются более крупные обломки вулканогенного облика. Полевые шпаты представлены преимущественно плагиоклазами. Кристаллы таблитчатой формы с полисинтетическим двойникованием, как правило, неокатаны. Также диагностируются плохоокатанные обломки неправильной формы, чаще подверженные вторичным изменениям (рис. 5, з). Среди обломков пород преобладают кислые и средние вулканыты. Также присутствуют кварц-полевошпатовые сростки и единичные высокоуглеролистые аргиллиты. Слюдистые минералы представлены мусковитами и биотитами со стандартными оптическими характеристиками, а также частично хлоритизированными агрегатами с голубыми интерференционными окрасками.

При накоплении погынденской свиты в области размыва преобладали гранитоиды, второстепенными источниками являлись терригенные породы и вулканыты.

3.2.2. Состав полевых шпатов

Полученные результаты петрографических исследований по наиболее представительным шлифам были заверены на сканирующем электронном микроскопе с анализатором. Дополнительно были изучены составы полевых шпатов (прил. 4.2). Для песчаников раучуанской свиты характерно присутствие значительного количества калиевых полевых шпатов, до 40% от общего количества полевых шпатов. По составу среди них преобладают чистые ортоклазы, встречаются также щелочные полевые шпаты с натриевой составляющей до 20%, альбитизированные разновидности и пертиты. Плагиоклазы представлены двумя типами. Для неокатанных кристаллов таблитчатой формы в большинстве случаев диагностируется альбитовый состав. Более измененные слабоокатанные обломки, как правило, имеют олигоклазовый состав. В отложениях нетпнейвеемской свиты калиевые разновидности полевых шпатов отсутствуют. Плагиоклазы представлены кристаллокластами альбита с анортитовой составляющей от 3 до 10% и ортоклазовой от 0 до 7%. В песчаниках утувеемской свиты встречаются только кислые плагиоклазы с анортитовой составляющей до 10%. Для отложений погынденской свиты характерно присутствие единичных зерен калиевых полевых шпатов и двух типов плагиоклаза.

3.2.3. Геохимический состав

Индекс химического выветривания (CIA) и диаграмма Al–Ca + Na–K показывают уровень выветривания для исходного осадочного материала в питающей провинции и последующего выветривания осадочных пород (Nesbitt and Young, 1982). Составы верхнеюрско-нижнемеловых песчаников демонстрируют хорошую дифференциацию (рис. 6). Самый низкий показатель CIA (52–54) имеют наиболее древние песчаники оксфорд-кимериджского возраста (раучуанская свита), что свидетельствует о преобладании в их источниках сноса свежих, недавно выведенных на поверхность пород. При этом схожие по петрографическому составу более молодые аркозовые алевропесчаники погынденской свиты характеризуются большим значением этого показателя (59–62–74), и его величина растет прямо про-

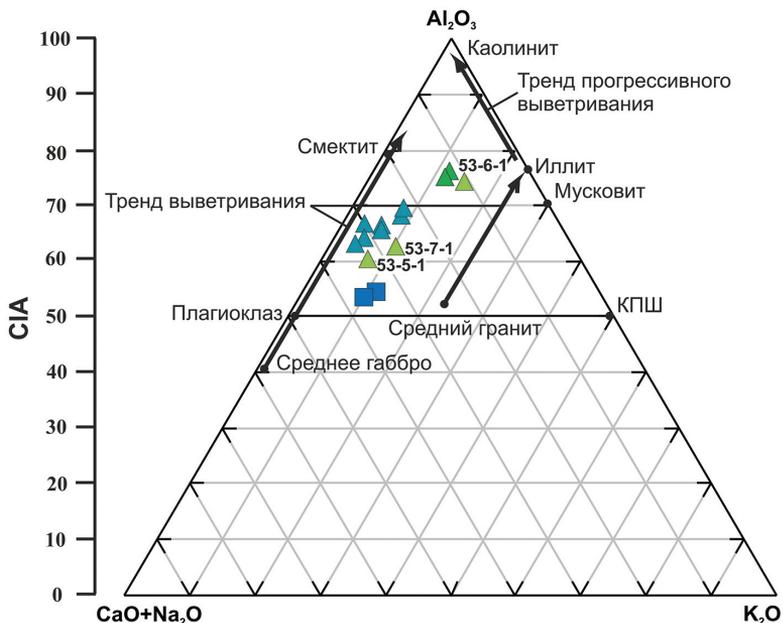


Рис. 6. Положение фигуративных точек составов верхнеюрско-нижнемеловых песчаников на диаграмме Al–Ca + Na–K (Nesbitt and Young, 1982).

Расчет показателя CIA выполняется через молекулярные количества петрогенных оксидов.

Условные обозначения: см. рис. 4

порционально увеличению алевритовой составляющей. Самым высоким индексом CIA характеризуются песчаники утуевемской свиты. В этих породах его величина достигает 73–75, что, наиболее вероятно, связано с большим содержанием обломков высокоуглеродистых кливажированных терригенных пород в составе. Коэффициент CIA, рассчитанный для песчаников нетпнейвеемской свиты, имеет средние значения и колеблется в диапазоне от 63 до 69.

Соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ отражает уровень зрелости обломочного материала и указывает на уровень фракционирования терригенного материала при переносе и осаждении (Pettijohn et al., 1972). В аркозах оксфорд-кимериджского возраста соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ выше, чем в более молодых песчаниках (прил. 4.3), что свидетельствует о постоянном обновлении источников сноса в позднеюрско-раннемеловое время.

Диаграмма соотношения основных петрогенных окислов Б.Д. Роузера и Р.Дж. Корша (Rosier and Korsch, 1988) применяется для выяснения состава источников сноса (рис. 7). В данном случае она также наглядно демонстрирует различия в составах пород выделенных стратиграфических подразделений. Состав пород в питающей провинции в оксфорд-кимериджское время при накоплении аркозов раучуанской свиты можно определить, как кислый. При этом фигуративные точки состава аркозовых песчаников раннемелового возраста группируются в пределах поля, характеризующего породы среднего состава. Положение на диаграмме точек псаммитов нетпнейвеемской свиты полностью подтверждает петрографические

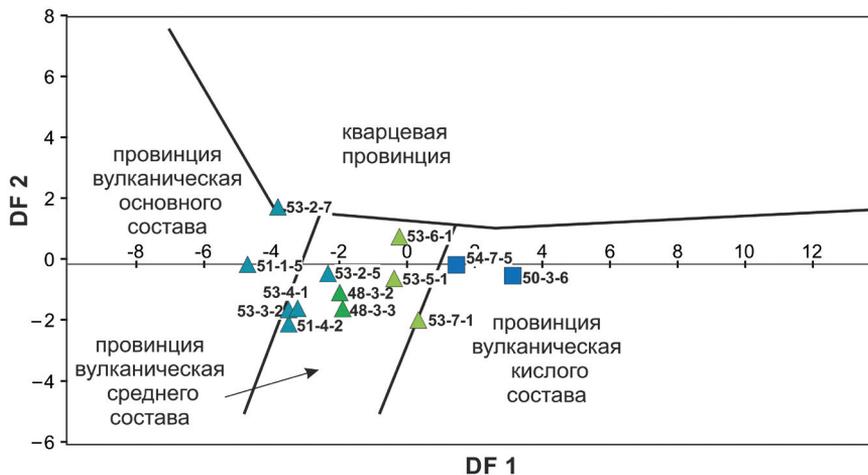


Рис. 7. Положение фигуративных точек составов верхнеюрско-нижнемеловых песчаников на дискриминантной диаграмме DF1-DF2, поля составов нанесены по данным (Roser and Korsch, 1988).

$$DF1 = 30.6038TiO_2/Al_2O_3 - 2.541Fe_{tot}/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 35.42K_2O/Al_2O_3 - 6.382; DF2 = 56.500TiO_2/Al_2O_3 - 10.879Fe_{tot}/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.404Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 3.89.$$

Остальные условные обозначения: см. рис. 4

наблюдения: их накопление происходило в результате размыва вулканических пород основного и среднего составов. Обломки вулканитов в граувакках утувеевской свиты имеют, как правило, кислый состав, в то время как соотношения петрогенных оксидов в этих породах имеют промежуточные значения. Смещение фигуративных точек составов песчаников утувеевской свиты в поле, характеризующее провинции среднего состава, связано с влиянием второго источника, сложенного терригенными отложениями.

Дискриминантная диаграмма Th-La-Sc (Bhatia and Crook, 1986), применяемая для определения тектонических обстановок накопления осадков, как правило, используется для граувакк (рис. 8). Тем не менее она прекрасно иллюстрирует и некоторые различия в составах разновозрастных аркозовых песчаников. Фигуративные точки составов верхнеюрско-нижнемеловых граувакк группируются в полях, свойственных для отложений, формирующихся в результате размыва островных дуг (А и В). Часть из них, характеризующая песчаники нетпнейвеевской свиты с преобладанием среди породообразующих компонентов обломков вулканитов среднего и основного составов, тяготеет к полю океанической дуги (А). Точки составов аркозовых песчаников раучуанской и погынденской свит на диаграмме дифференцируются с учетом различных значений соотношения La/Sc.

При исследовании *редкоземельные элементы* (РЗЭ) в составе верхнеюрско-нижнемеловых пород были нормированы к хондриту (Sun and McDonough, 1989) (прил. 4.4). На графики распределения для сравнения нанесен спектр PAAS (среднее значение из 23 анализов постархейских глинистых сланцев Австралии (Nance and Taylor, 1976). Отличительной особенностью оксфорд-кимериджских аркозов является высокое соотношение La_N/Yb_N , как результат обогащения легкими РЗЭ

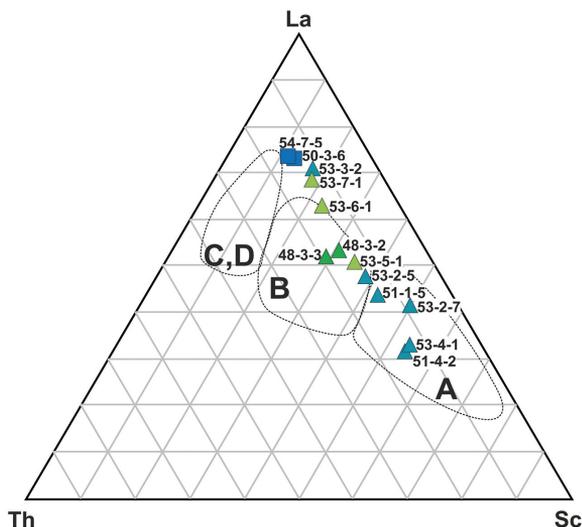


Рис. 8. Положение фигуративных точек составов верхнеюрско-нижнемеловых песчаников на дискриминантной диаграмме для определения тектонических обстановок осадконакопления, поля составов нанесены по данным (Bhatia and Crook, 1986):

А — океаническая островная дуга (примечание автора: энсиматическая дуга), В — континентальная островная дуга (примечание автора: энсиалическая дуга), С — активная континентальная окраина, D — пассивная континентальная окраина.

Остальные условные обозначения: см. рис. 4

и обеднения тяжелыми РЗЭ. Для песчаников нетпнейвеемской свиты характерны пониженные концентрации легких РЗЭ, а также менее выраженная европиевая аномалия относительно РААС. Промежуточные характеристики демонстрируют граувакки утувеемской свиты, что подтверждает данные петрографических наблюдений. Большое количество обломков терригенных пород среди породообразующих компонентов приближает распределение РЗЭ в берриасских отложениях к спектру РААС. Влияние вулканического источника интерпретируется по пониженным концентрациям легких РЗЭ. Песчаники погынденской свиты обладают близкими геохимическими характеристиками с аркозами раучуанской свиты. Соотношение La_N/Yb_N в них несколько ниже, чем в оксфорд-кимериджских аркозах, но в среднем выше, чем в изучаемых граувакках.

3.2.4. Sm-Nd изотопно-геохимические исследования

Интерпретация результатов изучения Sm-Nd изотопной системы в терригенных породах имеет ряд особенностей и ограничений. Наиболее информативным для определения состава источников сноса является эpsilon-параметр ($\epsilon_{Nd}(t)$) (Banner, 2004).

Низкие значения $\epsilon_{Nd}(t) < -15$ в аркозовых песчаниках раучуанской и погынденской свит свидетельствуют о доминировании в источниках сноса пород континен-

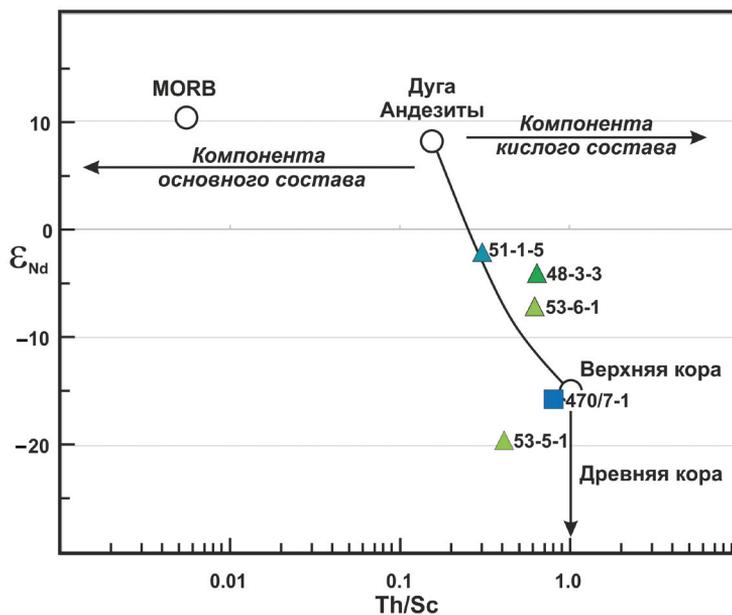


Рис. 9. Положение фигуративных точек составов верхнеюрско-нижне-меловых песчанников на диаграмме ϵ_{Nd} — Th/Sc (McLennan et al., 1993).

Условные обозначения: см. рис. 4

тальной коры (рис. 9). Более высокие значения эpsilon-параметра для образца 53-6-1 обусловлены значительным содержанием алевритовой примеси. Волжские отложения сформировались за счет размыва вулканитов. Положение фигуративной точки образца 51-1-5 на диаграмме ϵ_{Nd} — Th/Sc указывает на андезитовый состав питающей провинции. Отложения утувеевской свиты имеют промежуточные параметры Sm-Nd изотопной системы. В составе их источников присутствовали как относительно молодые вулканиты, так и более древние породы.

4. Обсуждение результатов

Верхнеюрско-нижнемеловые отложения Западной Чукотки традиционно характеризовались сходством состава и строения разрезов (Тибилев и Черепанова, 2001). В результате детальных литологических исследований ранее выделенных подразделений выявлены отличительные особенности, которые позволят стратифицировать и коррелировать между собой отдельные выходы, не содержащие ископаемые остатки. Слабый уровень сортированности материала и геохимические характеристики (низкие индекс CIA и соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) свидетельствуют об отсутствии влияния процессов выветривания и рециклинга на состав отложений. Контрастные литологические характеристики обусловлены различными условиями осадконакопления и сменой питающих провинций.

Раучуанская свита оксфорд-кимериджского возраста сложена преимущественно отложениями песчаных потоков, а также среднезернистыми турбидитами. Эти отложения накапливались в результате размыва древних гранитоидов и

в меньшей степени терригенных пород. Второстепенными источниками сноса являлись вулканиты и метаморфические комплексы. Песчаники оксфорд-кимериджского возраста имеют аркозовый состав с преобладанием полевых шпатов среди породообразующих компонентов. При этом доля калиевых полевых шпатов достигает 25 % от общего количества зерен. Отличительной особенностью песчаников является высокие соотношения La_N/Yb_N (среднее 15.1) и La/Sc (среднее 6.5) как результат обогащения легкими РЗЭ. Величина параметра ϵ_{Nd} составляет (-15.7).

Разрез *нетпнейвеемской свиты* волжского возраста представлен отложениями подводных конусов выноса с высокой долей вулканогенного материала. Основным источником сноса волжских отложений являлась функционирующая вулканическая дуга, второстепенным — терригенные породы. Песчаники относятся к кварцево-полевошпатовым грауваккам. В нижних частях разреза в их составе преобладают обломки основных и средних вулканитов, в верхних частях — кислых. Количество терригенных литокластов не превышает 35 % от общего количества обломков пород. Для волжских песчаников характерны пониженные концентрации легких РЗЭ, а также менее выраженная европиевая аномалия по сравнению с PAAS. Это особенно четко проявляется в низких соотношениях La/Sc (среднее 0.9). Значение ϵ_{Nd} близко к нулю (-2.1).

Утувеемская свита берриасского возраста сложена отложениями подводных конусов выноса. Характерной особенностью свиты является наличие текстур оползания осадка, по которым удалось зафиксировать преобладающее направление погружения склона палеобассейна и сноса осадочного материала с юга на север в современных координатах. Берриасские песчаники классифицируются как кварцево-полевошпатовые и кварцевые граувакки. По петрографическим данным их основными источниками являлись терригенные породы и вулканогенные комплексы преимущественно кислого состава. Наличие двух доминирующих источников сноса способствует смешению геохимических и изотопно-геохимических маркеров. Спектры распределения РЗЭ в песчаниках близки к PAAS, в том числе присутствует отрицательная европиевая аномалия (значение европиевой аномалии, рассчитанной через Gd, составляет в среднем 0.68). Остальные параметры имеют промежуточные значения: La_N/Yb_N (среднее 7.1) и La/Sc (среднее 1.7), $\epsilon_{Nd} = -4.7$.

Погынденская свита валанжинского возраста представлена отложениями преимущественно средних и дистальных частей подводных конусов выноса. В строении разреза свиты принимают участие горизонты амальгамированных песчаных слоев. В валанжинское время снова начинают размываться преимущественно древние гранитоиды. Песчаники этого возраста имеют аркозовый состав с преобладанием кварца и полевых шпатов среди породообразующих компонентов. В отличие от аркоз раучуанской свиты, валанжинские аналоги практически не содержат калиевых полевых шпатов. Для них типичны высокие, однако меньшие, чем в оксфорд-кимериджских, соотношения La_N/Yb_N (среднее 9.7) и La/Sc (среднее 2.6). Значение параметра ϵ_{Nd} в песчаниках погынденской свиты, как правило, ниже и достигает (-19.5).

Выявленные литологические характеристики раучуанской свиты рассматриваемой территории схожи с данными по этой свите западной части Мырговаамской впадины (Ватрушкина и Тучкова, 2014). Результаты по нетпнейвеемской свите хорошо согласуются с данными по одновозрастной имлекинской свите

Верхне-Пегтымельской впадины (Vatrushkina and Tuchkova, 2018). Таким образом, выявленные особенности состава и строения разреза изученных подразделений можно использовать для стратификации верхнеюрско-нижнемеловых отложений и составления корреляционных схем для достаточно обширной территории Западной Чукотки.

5. Заключение

Детальные седиментологические, петрографические, геохимические и изотопно-геохимические исследования верхнеюрско-нижнемеловых отложений Мырговаамской и Раучуанской впадин позволили выявить ряд характерных особенностей выделенных здесь стратиграфических подразделений, а также установить этапы смены источников сноса и условий осадконакопления. Оксфорд-кимериджский и валанжинский интервалы характеризуются размывом древних гранитоидов и накоплением большого объема псаммитовых разностей. В волжское и берриасское время в питающей провинции преобладали вулканиты и терригенные породы, накопление происходило в различных частях подводных конусов выноса. Выделенным этапам соответствуют две группы отложений, хорошо отличающиеся друг от друга строением разрезов и составом пород. Для расчленения разновозрастных комплексов, сформировавшихся в схожих условиях, выявлены седиментологические особенности и отличия в составе породообразующих компонентов.

Оксфорд-кимериджский и валанжинский разрезы представлены преимущественно мощными горизонтами песчаников, разделенными пачками средне-, реже тонкозернистых турбидитов. В строении оксфорд-кимериджского разреза преобладают отложения песчаных потоков, в то время как в валанжинском разрезе мощные пачки песчаников представлены горизонтами амальгамированных песчаных слоев. В первом случае песчаники содержат хаотично расположенные мелкие остроугольные обломки аргиллитов, во втором — горизонты песчаников маркируются кластами глин. Состав оксфорд-кимериджских и валанжинских песчаников аркозовый. Они отличаются прежде всего составом полевых шпатов. Верхнеюрские псаммиты содержат большое количество калиевых полевых шпатов (до 25 %). В нижнемеловых песчаниках преобладают плагиоклазы, калиевые разновидности присутствуют в единичных количествах.

Волжский и берриасский разрезы сложены тонко-, средне-, реже крупнозернистыми турбидитами, пачками ритмичного чередования песчаников и аргиллитов, а также линзами мелкогалечных конгломератов и гравелитов. Для берриасских отложений характерно наличие текстур оползания осадка. Состав волжско-берриасских песчаников граувакковый. При их разделении внимание следует уделить составу и соотношению обломков пород. В волжских псаммитах преобладают обломки вулканитов, преимущественно основного и среднего составов, особенно в нижних частях разреза. В берриасских песчаниках преобладают обломки терригенных пород, а обломки вулканитов имеют кислый состав.

Полученные результаты прекрасно иллюстрируют целесообразность применения подхода для расчленения и корреляции фациально невыдержанных, недостаточно охарактеризованных фаунистически толщ, основанного на идее, что в активной тектонической обстановке в разное время размываются разные источники

сноса, что отражается на составе пород. При таком подходе в одну свиту следует объединять отложения с близкими петрографическими, геохимическими и изотопно-геохимическими характеристиками.

Литература

- Баранов, М. А. (1995). Покровная тектоника Мырговаамской «впадины» (северо-запад центральной Чукотки). *Тихоокеанская геология*, 14 (3), 17–22.
- Баранов, М. А., Журавлев, Г. Ф. (2000). *Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Лист R-59-XXXI, XXXII*. Москва.
- Белик, Г. Я. (1960). *Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Лист R-59-XXXI, XXXII*. Москва: Госгеолтехиздат.
- Ватрушкина, Е. В., Тучкова, М. И. (2014). Литологические и геохимические особенности пород рачуанской свиты (верхняя юра) Западной Чукотки. *Бюллетень МОИП. Отдел геологический*, 89 (1), 58–73.
- Городинский, М. Е., Паракецов, К. В. (1960). Стратиграфия и тектоника мезозойских отложений Рачуанского прогиба. *Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР*, 14, 13–26.
- Корень, Т. Н., Котляр, Г. В. (ред.) (2009). *Решения Третьего Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург, 2002)*. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ.
- Паракецов, К. В., Городинский, М. Е. (1966). К вопросу о возрасте аркозовых песчаников в районе чаунской губы. *Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР*, 19, 56–62.
- Паракецов, К. В., Паракецова, Г. И. (1989). *Стратиграфия и фауна верхнеюрских и нижнемеловых отложений Северо-Востока СССР*. Москва: Недра.
- Симанович, И. М. (1978). *Кварц песчаных пород*. Москва: Наука.
- Телегин, Ю. М. (1995). *Отчет о геологическом доизучении масштаба 1:50 000 с общими поисками в 1987–1992 гг. Кн. 1. Певек: Чаунское государственное горно-геологическое предприятие*.
- Тибилев, И. В., Черепанова, И. Ю. (2001). *Геология севера Чукотки — современное состояние и проблемы*. Москва: ГЕОС.
- Шутов, В. Д., Коссовская, А. Г., Муравьев, В. И., Юркова, Р. М., Соколова, Т. Н. (1972). Граувакки. *Труды ГИН АН СССР*. Москва: Наука, 238.
- Banner, J.L. (2004). Radiogenic isotopes: systematics and applications to earth surface processes and chemical stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 65 (3–4), 141–194. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(03\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00086-2)
- Bhatia, M. R. and Crook, K. A. W. (1986). Trace element characteristics of grauwackes and tectonic settings discrimination of sedimentary basins. *Contrib. mineral petrol*, 92, 181–193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N. (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: M. J. Johnsson, A. Basu, ed., *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America Special papers, 284, 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Nance, W. B. and Taylor, S. R. (1976). Rare earth element patterns and crustal evolution — I. Australian post — Archean sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40, 153–1551. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(77\)90229-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(77)90229-0)
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R. (1972). *Sand and Sandstone*. New York: Springer.
- Roser, B. D. and Korsch, R. J. (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, 67, 119–139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- Shanmugam, G. (2000). 50 years of the Turbidite paradigm (1950s–1990s): Deep-Water Processes and Facies Models-A Critical Perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 17, 285–342. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(99\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(99)00011-2)

- Sokolov, S.D. (2010). Tectonics of Northeast Asia: An overview. *Geotectonics*, 44, 493–509. <https://doi.org/10.1134/S001685211006004X>
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: A. D. Saunders, M. J. Norry, ed., *Magmatism in the oceanic basins*. Geological Society Special Publ., 42 (1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Vatrushkina, E. V. and Tuchkova, M. I. (2018). Sedimentation conditions and provenance composition of the Upper Jurassic — Lower Cretaceous deposits of the Upper Pegtymel Depression, Chukotka Terrane. *Russian Journal of Pacific Geology*, 12 (4), 320–339. <https://doi.org/10.1134/S1819714018040073>

Статья поступила в редакцию 7 августа 2020 г.
Статья рекомендована в печать 12 октября 2020 г.

Контактная информация:

Ватрушкина Елена Владимировна — evat_095@mail.ru

Тучкова Марианна Ивановна — tuchkova@ginras.ru

Lithology of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits of the eastern part of the Myrgovaam and Rauchua depressions, Western Chukotka*

E. V. Vatrushkina, M. I. Tuchkova

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences,
7, Pyzhevskii per., Moscow, 119017, Russian Federation

For citation: Vatrushkina, E. V., Tuchkova, M. I. (2020). Lithology of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits of the eastern part of the Myrgovaam and Rauchua depressions, Western Chukotka. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 65 (4), 717–739. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.407> (In Russian)

Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits were formed on the southwestern margin of the Chukotka terrane in an active tectonic environment. Their stratigraphic units are characterized by sedimentary structures and lithological similarities, facies variation and scarcity of reliable fauna findings. Detailed lithological studies are necessary due to the absence of a unified approach to the stratigraphic division of deposits. This paper presents petrographic, geochemical, and isotope-geochemical characteristics of Upper Jurassic–Lower Cretaceous rocks. The stages of changing sedimentation conditions and sources, which determined the differences in sedimentological features and the composition of the studied strata, are reconstructed. The Oxford–Kimmeridgian section is composed of sandy debris flow deposits with an arkosic composition of psammitic differences. Among their sources, ancient granitoids dominated, while siliciclastic rocks, volcanites and metamorphic complexes were secondary. The Volgian–Valanginian interval is characterized by the accumulation of sediments in various parts of the submarine fan. In Volgian sequences fine-, medium- and coarse-grained turbidites with lenses of small-pebble conglomerates are identified. A large amount of simultaneous pyroclastic material in the Volgian deposits indicates synchronous volcanic activity. In the Volgian period, the province was dominated by volcanites, mainly of basaltic and andesitic composition; siliciclastic rocks were present in a smaller amount. The Berriasian section is composed of fine-grained turbidites with single horizons of medium-grained turbidites and gravelitic lenses, as well as slope deposits in the form of rhythmically interbedded sandstones and mudstones with slump structures. Sandstones have greywacke composition and contain an admixture of ash material in the matrix. The main sourc-

* The work was carried out within the framework of the theme on the State Assignment of the GIN RAS with financial support from the Russian Science Foundation grant No. 18-77-10073.

es for Berriasian deposits were siliciclastic rocks and felsic volcanic complexes. The Valanginian section is represented by fine- and medium-grained turbidites with horizons of amalgamated sandstones. Sandstones are classified as arkoses by the ratio of rock-forming components. The dominant source in the Valanginian time was ancient granitoids, while siliciclastic rocks and volcanites were secondary.

Keywords: Upper Jurassic–Lower Cretaceous, sandy debris flow, turbidites, petrography, sedimentary geochemistry, provenance, Western Chukotka.

References

- Banner, J.L. (2004). Radiogenic isotopes: systematics and applications to earth surface processes and chemical stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 65 (3–4), 141–194. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(03\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00086-2)
- Baranov, M. A. (1995). Nappe tectonics of the Myrgovaam basin (northwest of Central Chukotka). *Russian Journal of Pacific Geology*, 14 (3), 17–22. (In Russian)
- Baranov, M. A. and Zhuravlev, G. F. (2000). *Explanatory note to the geological map scale 1:200 000. Sheet R-59-XXXI, XXXII*. Moscow. (In Russian)
- Belik, G. Ia. (1960). *Explanatory note to the geological map of USSR scale 1:200 000. Sheet R-59-XXXI, XXXII*. Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ. (In Russian)
- Bhatia, M. R. and Crook, K. A. W. (1986). Trace element characteristics of grauwackes and tectonic settings discrimination of sedimentary basins. *Contrib. mineral petrol*, 92, 181–193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>
- Gorodinskii, M. E. and Paraketsov, K. V. (1960). Stratigraphy and tectonics of the Mesozoic deposits of the Rauchua trough. *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Severo-Vostoka SSSR*, 14, 13–26. (In Russian)
- Koren, T. N. and Kotliar, G. V. (eds.). (2009). *Decisions of the Third interdepartmental regional stratigraphic meeting on Precambrian, Paleozoic and Mesozoic of the North-East of Russia (St. Petersburg, 2002)*. St. Petersburg: VSEGEI Publ. (In Russian)
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N. (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: M. J. Johnsson, A. Basu, ed., *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America Special papers, 284, 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Nance, W. B. and Taylor, S. R. (1976). Rare earth element patterns and crustal evolution — I. Australian post — Archean sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40, 153–1551. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(77\)90229-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(77)90229-0)
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Paraketsov, K. V. and Gorodinskii, M. E. (1966). To the question of the age of arcogenic sandstones in the area of the Chaun Bay. *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Severo-Vostoka SSSR*, 19, 56–62. (In Russian)
- Paraketsov, K. V. and Paraketsova, G. I. (1989). *Stratigraphy and fauna of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous deposits of northeast USSR*. Moscow: Nedra Publ. (In Russian)
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R. (1972). *Sand and Sandstone*. New York: Springer.
- Roser, B. D. and Korsch, R. J. (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, 67, 119–139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- Shanmugam, G. (2000). 50 years of the Turbidite paradigm (1950s–1990s): Deep-Water Processes and Facies Models—A Critical Perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 17, 285–342. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(99\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(99)00011-2)
- Shutov, V. D., Kosovskaia, A. G. and Murav'ev, V. I. (1972). *Graywackes. Trudy GIN AN SSSR*. Moscow: Nauka Publ., 238. (In Russian)
- Simanovich, I. M. (1978). *Quartz of Arenaceous Rocks*. Moscow: Nauka Publ. (In Russian)
- Sokolov, S. D. (2010). Tectonics of Northeast Asia: An overview. *Geotectonics*, 44, 493–509. <https://doi.org/10.1134/S001685211006004X>

- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: A. D. Saunders, M. J. Norry, ed., *Magmatism in the oceanic basins*. Geological Society Special Publ., 42 (1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Telegin, Iu. M. (1995). *Report on the geological survey 1:50 000 scale with a common prospecting in 1987–1992, Kn. 1. Pevek: Chaunskoe gosudarstvennoe gorno-geologicheskoe predpriiatie.* (In Russian)
- Tibilov, I. V. and Cherepanova, I. Iu. (2001). *Geology of Northern Chukotka — modern state and problems.* Moscow: GEOS Publ. (In Russian)
- Vatrushkina, E. V. and Tuchkova, M. I. (2014). Lithology and geochemistry of Rauchua formation siliciclastics (Upper Jurassic) in western Chukotka. *Biulleten' MOIP. Otdel geologicheskii*, 89 (1), 58–73. (In Russian)
- Vatrushkina, E. V. and Tuchkova, M. I. (2018). Sedimentation conditions and provenance composition of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits of the Upper Pegtymel Depression, Chukotka Terrane. *Russian Journal of Pacific Geology*, 12 (4), 320–339. <https://doi.org/10.1134/S1819714018040073>

Received: August 7, 2020
Accepted: October 12, 2020

Contact information:

Elena V. Vatrushkina — evat_095@mail.ru
Marianna I. Tuchkova — tuchkova@ginras.ru