

УДК 551.26+552.5

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ЧУКОТКИ И О. ВРАНГЕЛЯ И ВЗАИМОСВЯЗИ С ОДНОВОЗРАСТНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

М.И. Тучкова¹, С.Д. Соколов¹, А.В. Моисеев¹, В.Е. Вержбицкий²,
В.В. Костылева¹, Е.В. Ватрушкина¹

¹Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия

²ОАО «Роснефть», 117997, Москва, Софийская наб., 26/1, Россия

Обсуждается корреляция литологических характеристик верхнетриасовых отложений о. Врангеля и Чукотки. Показано их сходство по ряду литологических признаков, включающих изотопные, петрографические и геохимические данные. Установлено, что накопление верхнетриасовых песчаных толщ происходило в разных участках единого осадочного бассейна, в мелководных условиях проделът на о. Врангеля и в более глубоководных на Чукотке. В конце триаса в разрезах отмечается повышение роли песчаной составляющей. При этом уменьшается средняя размерность песчаных зерен, что указывает на снижение роли тектонического фактора в отдельных участках питающей провинции, и ее общую пенеplanation с формированием коры выветривания. Размывавшиеся комплексы сложены породами гранитоидными, метаморфическими и метавулканиками основного состава и длительное время находились на суше, подвергаясь химическому выветриванию. Интервалы увеличения количества песчаного материала в разрезе о. Врангеля и Чукотки синхронны с таковыми в разрезах Свердрупского бассейна и северного склона Аляски.

Верхний триас, литология, петрография, тяжёлая фракция, геохимический анализ, источники сноса, корреляция, палеорекострукции, Чукотка, о. Врангеля

LITHOLOGY OF THE UPPER TRIASSIC SEDIMENTARY ROCKS OF CHUKOTKA AND WRANGEL ISLAND AND THEIR RELATIONSHIP WITH COEVAL ROCKS OF THE EASTERN ARCTIC

M.I. Tuchkova, S.D. Sokolov, A.V. Moiseev, V.E. Verzhbitskii,
V.V. Kostyleva, E.V. Vatrushkina

The correlation between the sedimentologic characteristics of the Upper Triassic deposits of Wrangel Island and the Chukchi Peninsula (Chukotka) is discussed. These deposits are similar in isotopic, petrographic, and geochemical features. It has been established that the Upper Triassic sand strata accumulated at different sites of a single sedimentary basin, in shallow-water prodeltas of Wrangel Island and in deeper-water environments of Chukotka. In the latest Triassic, the portion of the sand component in the sections increased. At the same time, the average size of the sand grains decreased, which indicates weakening of the tectonic factor in some zones of the provenance and its general peneplanation with the formation of a weathering crust. The eroded complexes are composed of granitoid, metamorphic, and metavolcanic rocks. They stayed on land for a long time, being subjected to chemical weathering. The depth intervals with the large amount of sandy material in the section of Wrangel Island and Chukotka are correlated with those in the sections of the Sverdrup Basin and the northern slope of Alaska.

Upper Triassic, sedimentology, petrography, heavy minerals, geochemical analysis, provenance, correlation, paleoreconstruction, Chukotka, Wrangel Island

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении длительного времени изучения триасовых отложений Чукотки и о. Врангеля были установлены их литологические характеристики и определены доминирующие популяции обломочных цирконов [Громов, 1939; Городинский, Паракецов, 1960; Kos'ko et al., 1993; Бычков, 1994; Остров..., 2003; Miller et al., 2006, 2010, 2013; Tuchkova et al., 2009, 2014; Соколов и др., 2017]. Также были опубликованы данные по корреляции строения триасовых отложений о. Врангеля и Аляски или Аляски и Арктической Канады [Тильман и др., 1964; Тильман, 1973; Каменева, 1977; Бычков, 1991; Бурлин, Шипелькевич, 2006; Sømme et al., 2018]. Также проводились структурные исследования, которые существенно прояснили деформационную историю региона [Вержбицкий и др., 2014, 2015; Голионко и др., 2017, 2018; Моисеев и др., 2018].

© Тучкова М.И., Соколов С.Д., Моисеев А.В., Вержбицкий В.Е., Костылева В.В., Ватрушкина Е.В., 2023

✉ e-mail: tuchkova@ginras.ru

Данные о корреляции триасовых отложений Чукотки и о. Врангеля отсутствуют, поэтому назрела необходимость провести это сравнение. Это важно для понимания особенностей формирования Американо-Чукотского бассейна, происхождение которого до сих пор дискуссионно [Miller et al., 2006; Kuzmichev, 2009; Лобковский и др., 2011; Лаверов и др., 2013]. Наиболее популярная ротационная гипотеза [Embry, 1990; Grantz et al., 1990] предполагает вращение против часовой стрелки континентального блока (микроплиты) Арктическая Аляска—Чукотка (ААЧ) после его отрыва от Арктической Канады с последующим приращением к Северной Америке и Евразии. Этот процесс начался в ранней юре и завершился в раннемеловое время. При этом фрагменты континентального блока вошли в состав современных складчатых областей по периферии арктического океана [Зоненшайн, Натапов, 1987; Верниковский и др., 2013], включая Новосибирско-Чукотскую покровно-складчатую область. Накопление триасовых отложений непосредственно предшествовало отрыву микроплиты, поэтому их литологические особенности, палеогеографические обстановки и реконструкция бассейна или бассейнов осадконакопления представляют интерес для тестирования ротационной гипотезы. Важным аспектом в этой проблеме является выявление питающей провинции, положение которой для триасового времени предполагается на севере для бассейнов Чукотки [Шатский, 1963; Зоненшайн, Натапов, 1987; Tuchkova et al., 2009, 2020], Аляски [Moore et al., 1994, 2015] и Свердруп [Embry, 1993; Anfinson et al., 2016; Embry, Beauchamp, 2019].

В настоящей статье предлагается сравнить строение разрезов и литологические характеристики триасовых отложений о. Врангеля и Чукотки, на территории которых авторы статьи проводили исследования в течение нескольких полевых сезонов (1999—2014). Триасовые отложения Чукотки и о. Врангеля имеют покровно-складчатое строение и разный стратиграфический объем, поэтому в данной статье рассмотрены только отложения верхнего триаса, достоверно установленные в обоих объектах. На основе сравнительного анализа литологических характеристик представлена реконструкция обстановок осадконакопления и состав источников сноса, сделано предположение о едином осадочном бассейне.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Остров Врангеля, Северная Чукотка и разделяющая их акватория Чукотского моря принадлежат Новосибирско-Чукотской покровно-складчатой области поздних мезозойских. В составе складчатой области выделяются Южно-Аньюйская, Аньюйско-Чукотская и Новосибирско-Врангелевская складчатые системы. Складчатые системы состоят из отдельных террейнов и субтеррейнов (рис. 1, *a*), которые характеризуются единством структурных позиций, одновременностью аккреционно-коллизийных событий и складчато-надвиговых деформаций [Соколов, 2010].

Триасовые отложения Чукотского террейна Аньюйско-Чукотской складчатой системы изучены в Аньюйском (An) и Чаунском (Ch) субтеррейнах (см. рис. 1). В Чаунском субтеррейне верхний триас подстилается нерасчлененными отложениями пермтриаса, а в Аньюйском — отложениями нижнего—среднего триаса. Для нижнего триаса характерны многочисленные силлы, мелкие гипабиссальные тела диабазов, габбро и долеритов с U-Pb возрастом зерен циркона 252 млн лет [Ledneva et al., 2011]. Отложения верхнего триаса представлены двумя толщами — карнийской и норийской с редкими находками макрофауны соответствующего возраста [Тибилев, Черепанова, 2001].

Остров Врангеля относится к Врангелевскому террейну Новосибирско-Врангелевской складчатой системы, которая занимает арктический шельф и включает в себя также террейны Котельный и Беннета [Соколов и др., 2001]. Территория острова разделена на три тектонические зоны (Северную, Южную и Центральную) на основании строения и состава отложений [Соколов и др., 2017]. Метаморфический фундамент острова сложен породами врангелевского комплекса, возраст которого определен как неопротерозойский [Остров..., 2003; Соколов и др., 2017; Лучицкая и др., 2017; Luchitskaya et al., 2017; Моисеев и др., 2019]. Триасовые отложения на о. Врангеля вместе с образованиями палеозоя (от верхнего силура до пермских) входят в состав осадочного чехла. При этом наиболее широко триасовые отложения развиты в Южной тектонической зоне, где они завершают мезозойский разрез и перекрываются отложениями кайнозоя (см. рис. 1). Единичные находки фауны в Южной тектонической зоне датируют образования карнийского и норийского ярусов [Остров..., 2003].

Накопление триасовых отложений происходило в режиме пассивной континентальной окраины с постепенным продвижением зоны шельфа в южном направлении в современных координатах [Тучкова и др., 2007; Tuchkova et al., 2009, 2014]. В конце позднепермского времени завершается пассивная стадия континентальной окраины микроплиты Арктическая Аляска-Чукотка. Дальнейшая история триасовых осадочных толщ связана с разнообразными юрско-меловыми тектоническими событиями, приведшими к формированию современной сложной структуры Восточной Арктики.

Деформационная история этой части Арктики изучалась исследователями уже давно и первые надвиги на о. Врангеля были установлены Л.В. Громовым [1947]. Тектонические покровы позднее были изучены магаданскими геологами [Тильман и др., 1970]. На сегодняшний день наиболее полно структуры,

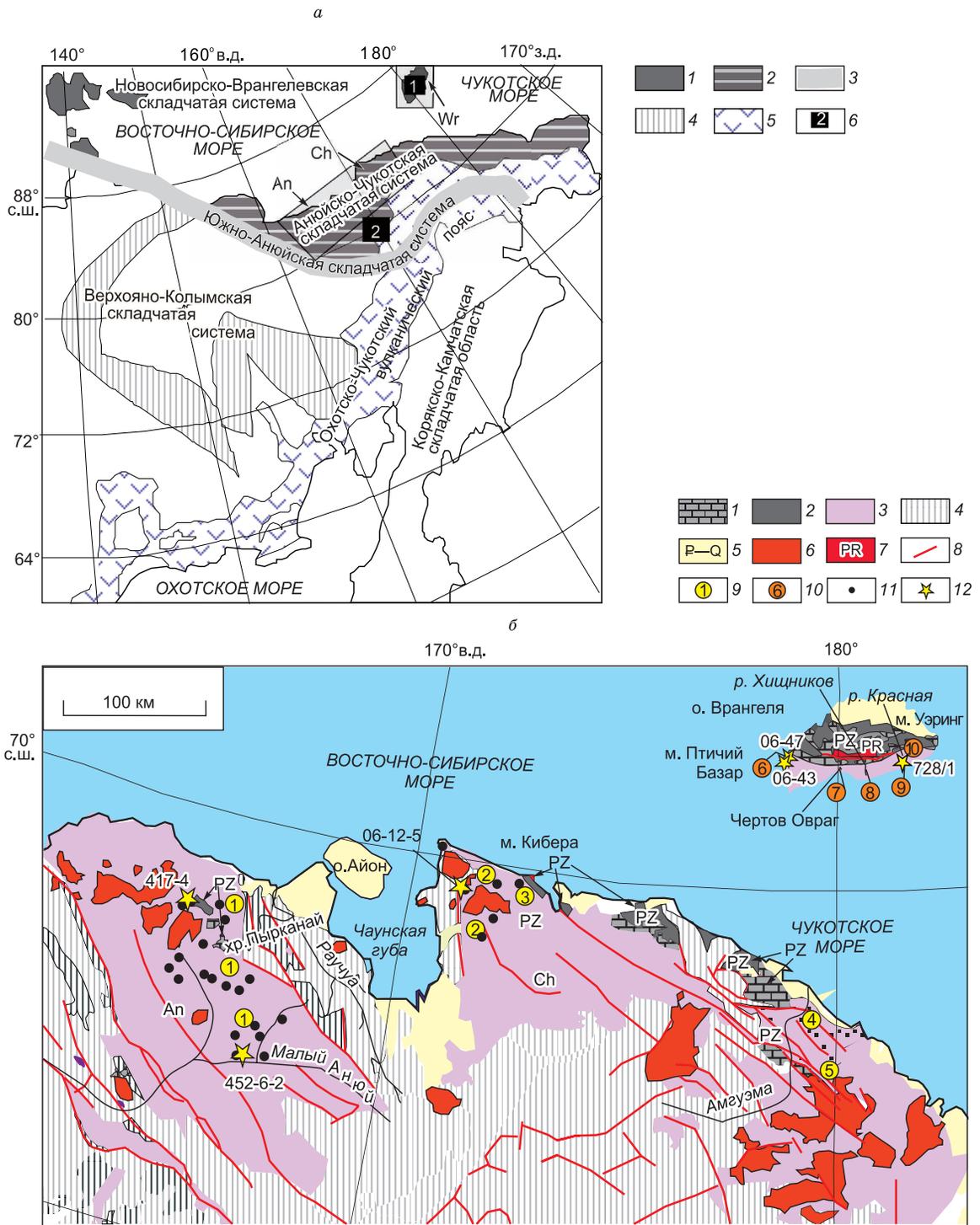


Рис. 1. Положение района работ на территории Арктики (а) и геологическая карта (б).

а — тектоническая схема северо-востока Азии с положением субтеррейнов (An — Анюйский, Ch — Чаунский) и Врангелевского террейна (Wr), также указано местоположение объектов, представленных в статье. 1–4 — складчатые системы Чукотской складчатой области: 1 — Новосибирско-Врангелевская; 2 — Анюйско-Чукотская; 3 — Южно-Анюйская; 4 — Алазейско-Олейская складчатая система Верхояно-Колымской складчатой области; 5 — Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 6 — черными прямоугольниками показано местоположение изученных объектов: 1 — о. Врангеля; 2 — Чукотка. б — фрагмент геологической карты обрамления Восточно-Сибирского и Чукотского морей, по [Geological map..., 2008] с упрощением. Цифры в кружках соответствуют объектам, перечисленным в тексте, номера на карте соответствуют номерам разрезов на рис. 2 и 3. 1, 2 — палеозойские образования; 1 — преимущественно девонские; 2 — преимущественно каменноугольные; 3 — триасовые отложения; 4 — юрско-меловые отложения; 5 — кайнозой-четвертичные отложения; 6 — граниты и гранитоиды; 7 — протерозойские образования; 8 — разломы регионального значения; 9 — расположение сводных разрезов, представленных на рис. 2; 10 — расположение сводных разрезов, представленных на рис. 3; 11 — точки описания разрезов; 12 — места отбора проб на U-Pb датирование обломочных цирконов.

возраст и этапы деформаций описаны в работах [Соколов и др., 2001; Остров..., 2003; Бондаренко, 2004; Катков и др., 2010; Вержбицкий и др., 2014, 2015; Miller et al., 2018; Голионко и др., 2018; Моисеев и др., 2018].

МЕТОДИКА

Подсчет минерального состава и оценка содержания матрикса и цемента были произведены в наиболее представительных образцах на микроскопе Olympus BX-51. Всего был проанализирован минеральный состав в 21 и 10 образцах песчаников из отложений Чукотки и о. Врангеля соответственно. В каждом образце было подсчитано от 120 до 250 зерен, подсчет производился в зернах размерностью 0.25—0.50 мм, иногда, в случае отсутствия зерен подходящей размерности, в подсчет добавлены зерна 0.15—0.25 мм. Результаты сведены в таблицу и нанесены на диаграммы. Были определены кварц моно- и поликристаллический, типы полевых шпатов и обломков пород. При этом сделаны следующие допущения:

Ls — к осадочным породам отнесены обломки известняков, известковых алевролитов, а также кливажированных аргиллитов и обломки с окатанными зернами алевролитовой размерности и мельче, сцементированные хлорит-слюдистым агрегатом; обломки, представленные агрегатами микрозернистого кварца отнесены к кремням.

Lm — к обломкам метаморфических пород отнесены обломки мелкозернистых агрегатов кварц—слюда или кварц—хлорит; метакварциты, а также метаосадочных пород с эпидотом или мусковитом в цементе и обломки сланцев с тонкозернистой структурой и с агрегатами хлорит-слюдистых или слюдистых.

Lv — к вулканогенным отнесены обломки с микролитовой или фельзитовой структурой, обломки вулканического стекла и полевых шпатов, сцементированные вулканическим стеклом.

Lg — обломки гранитоидов, к ним отнесены сростки кварц-полевой шпат или кварц-полевой шпат-мусковит.

Анализ тяжелой фракции был произведен в Институте геологии и геохронологии докембрия (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург) по стандартной методике, всего проанализировано 10 образцов из верхнетриасовых песчаников о. Врангеля и 7 образцов Чукотки.

В дополнение к песчаникам анализировались ассоциирующие с ними аргиллиты для более достоверной корреляции геохимической и минералогической характеристик бассейна седиментации. Минеральный состав аргиллитов оценивался первоначально при микроскопических исследованиях, затем в типовых образцах анализировался состав рентгеноструктурным методом: 9 образцов о. Врангеля и 9 образцов Чукотки (исп. В.Л. Косоруков, МГУ, геологический факультет).

Элементный анализ проб проводили в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа под руководством В.К. Карандашева. В статье представлены геохимические анализы аргиллитов (14 образцов) и песчаников (17 образцов). Дальнейший анализ заключался в подсчете и сравнении соотношений элементов, указывающих на степень зрелости обломочного материала, обстановки осадконакопления, источники сноса и т. д.

Определение концентраций Sm и Nd, изотопных отношений Nd и величин ϵ_{Nd} в образцах осадочных пород Чукотки и о. Врангеля проводилось в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института Кольского научного центра РАН (КНЦ РАН) под руководством д.г.-м.н. Т.Б. Баяновой. Расчеты параметров изохрон проводились с использованием программ К. Людвиг [Ludwig, 2003], константы распада по [Steiger, Jäger, 1977]. Анализ Sm-Nd системы рассматривается в контексте эpsilon-параметра и модельного возраста. При изучении терригенных пород эpsilon-параметр обычно рассчитывается для современности ($\epsilon(0)$) и для времени осадконакопления ($\epsilon(t)$).

Выделение монофракций циркона проведены группой технологической обработки пород лаборатории геологии складчатых поясов ГИН РАН с использованием стандартных методик плотностной и магнитной сепарации, приведенных на сайте (<http://ftlab.ginras.ru/metodika.htm>). U-Pb изотопное датирование обломочных зерен циркона проведено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с лазерной абляцией (LA-ICP-MS). Датирование проведено П.Б. О'Салливаном (компания GSS) на оборудовании геоаналитической лаборатории Школы наук о Земле и окружающей среде Вашингтонского государственного университета, г. Пуллман, штат Вашингтон, США. Методика изотопных измерений изложена в работах [Bradley et al., 2007; Hults et al., 2013; Moore et al., 2015]. Полученные данные приведены в таблице (см. доп. материалы https://sibran.ru/journals/Suppl_Tychkova.pdf). При интерпретации учитывались зерна с дискордантностью (отношение $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ к $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов) $30\% \geq D \geq -30\%$. Для зерен старше 1.4 млрд лет были использованы $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ измеренные возрасты, для зерен моложе 1.4 млрд лет — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возрасты. Гистограмма и кривая плотности вероятности построена в программе Isoplot/Ex 4.15 [Ludwig, 2003]. Кумулятивные кривые построены с помощью макросов для Excel, написанные в Центре Лазергеохрон, Департамент геологических наук, Аризонский университет, США [Gehrels, 2009].

СТРОЕНИЕ РАЗРЕЗОВ И ИХ ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На Чукотке отложения карнийского и норийского ярусов доказаны находками фораминифер *Flagrina*, ныне имеющие название *Bathysiphon* [Loeblich, Tappan, 1987], а также двустворок *Halobia* и *Monotis* [Тибилев и др., 1982; Бычков, 1994; Баранов, 1995; Тибилев, Черепанова, 2001; и др.]. В норийских тонкозернистых разностях многочисленны остатки раковин *Monotis* часто встречаются совместно со следами ползания червей-илоедов. В Чаунском субтеррейне обнаружены фораминиферы [Морозов, 2001]. Мощность верхнего триаса меняется от разреза к разрезу и составляет от 1500 до 3500 м. Выше лежащие отложения верхней юры—нижнего мела выполняют разновозрастные впадины [Паракецов, Паракецова, 1989; Ватрушкина, 2021].

В Анюйском субтеррейне о взаимоотношениях верхнетриасовых отложений с ниже лежащими имеются различные мнения: согласный контакт [Тильман, Егоров, 1957; Садовский, 1962; Натальин, 1984] или тектонический. Между отложениями карния и нория взаимоотношения считаются согласными, с постепенными переходами между толщами. Карнийские разрезы имеют двучленное строение: в нижней толще преобладают аргиллиты, в верхней — песчаники и алевролиты. Аргиллиты нижней толщи не закономерно чередуются с редкими маломощными прослоями алевропесчаников. В разрезе верхней толщи доминируют песчаники, которые формируют пачки ритмичного переслаивания с аргиллитами или амальгамированными песчаниками без аргиллитов, мощность пачек 5—15 м. Для норийских разрезов характерно тонкоритмичное чередование алевропесчаника—аргиллит с редкими прослоями мелкозернистых песчаников. И карнийские и норийские песчаные прослои часто имеют эрозионный нижний контакт, следы течения, косую и косоволнистую слоистость, иногда с волновой рябью. Дополнительно к перечисленным в норийских песчаниках отмечена конволютная слоистость (рис. 2).

Восточнее, в Чаунском субтеррейне, в бассейне р. Амгуэма, карнийско-норийские отложения приурочены к южной части поля развития верхнего триаса. Карний с трансгрессивным несогласием перекрывает в одних случаях оленекские, а в других — отложения среднего триаса. В разрезах карния преобладают глинистые и слюдисто-глинистые сланцы и алевролиты, содержащие *Dentalium*, а также *Flagrina (Bathysiphon)* и *Halobia* [Морозов, 2001]. В песчано-алевритовых отложениях нория встречаются раковины монотисов, иногда образующие скопления обломков, и крупные фрагменты растительности. Песчаники характеризуются разнообразными, преимущественно оползневыми текстурами, и прослоями углито-песчаных алевролитов или углстых песчаников. К северу и северо-западу отложения карния и нория характеризуются сокращением мощностей до 650—700 м, широким развитием линзовидной слоистости и знаков ряби, присутствуют ходы илоедов и многочисленные органические остатки. В целом наблюдается общее огрубление материала до появления мелкогалечных конгломератов и гравелитов в верхних частях разреза [Морозов, 2001]. Грубозернистые образования встречаются также в окрестностях Певека, в верхних частях разреза верхнего триаса [Ватрушкина, Костылева, 2019].

На о. Врангеля верхнетриасовые отложения Южной тектонической зоны надвинуты на разные горизонты палеозойских отложений вдоль надвига Минеева. Карнийско-норийский возраст отложений определен на основании фаунистических находок [Остров..., 2003]. Норийский комплекс включает *Monotis jakutica* Tell., *M. ochotica* var. *densistriata* Tell., *M. aff. subcircularis* Gabb. Средне- и верхне-норийский возраст вмещающих отложений также датируют *Monotis (Entomonotis) densistriata* (Tell.) и *Eomonotis* ex. gr. *scutiformis* (Tell.)? (находки авторов 2014 г., определение И.В. Полуботко, ВСЕГЕИ). Карнийский комплекс охарактеризован *Halobia* ex. gr. *superba* Mojs., *Monotis scutiformis* var. *typica* Kipar., *M. pinensis* West., *M. setacanensis* Kipar., однако в современной трактовке этот комплекс относится к норийскому ярусу. Тем не менее, учитывая, что перечисленные находки обнаружены в верхней части осадочной толщи, наличие карнийского яруса или по крайней мере его верхней части не исключено. Общая мощность триасовых отложений оценивается по-разному от 800—1500 м [Kos'ko et al., 1993] или более 2000 м [Остров..., 2003]. По наблюдениям авторов данной статьи, мощность отложений составляет не более 650—800 м, хотя оценить это точнее трудно из-за деформаций.

В целом разрез на о. Врангеля условно можно разделить на две толщи, однако подобное разделение четко прослеживается главным образом на западе и юго-западе острова (м. Птичий Базар, разрез Чертов Овраг). В нижней толще доминируют тонкозернистые породы, в верхней преобладают песчаные прослои, мощность которых составляет от 12—20 см (рис. 3, фото 1 и 2) до 1.5 м (фото 4). Восточнее (реки Хищников, Красная, Перевальная) разрез представлен переслаиванием песчаных и алевро-аргиллитовых пачек, мощность каждой из которых составляет 20—35 м (см. рис. 3, фото 5, 8).

Нижняя толща представлена переслаиванием аргиллитов, алевролитов и тонкозернистых песчаников с мощностью песчаных прослоев 3—10 см. Аргиллиты преобладают и содержат зерна алевроитовой размерности, которые расположены вдоль горизонтальной слоистости или формируют протяженные линзовидные прослои. На западе острова в алевролитах установлена неявная косая слоистость и складки подводного оползания (м. Птичий Базар). Встречаются прослои алевропесчаника или тонкозернистого

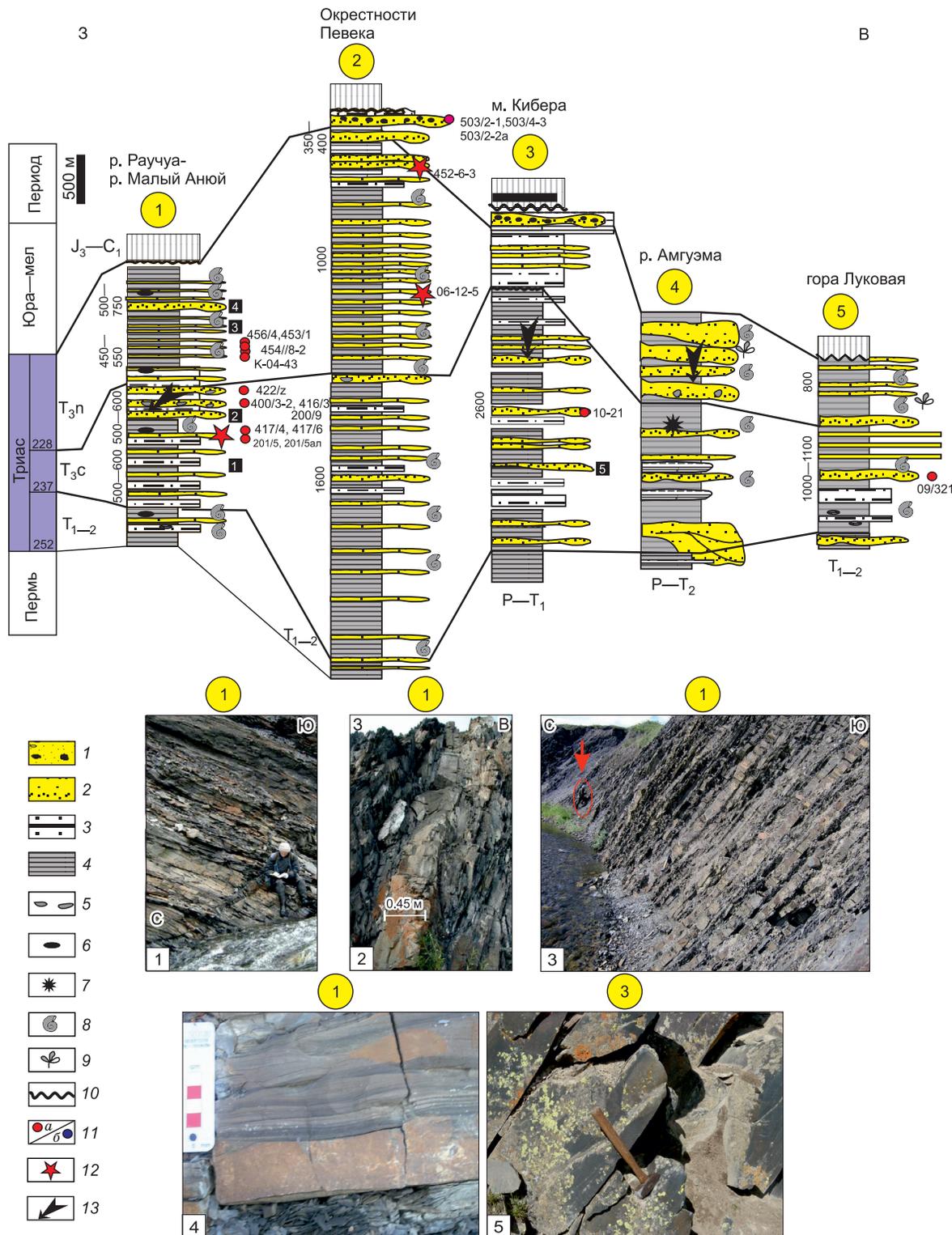


Рис. 2. Сводные разрезы триасовых отложений Чукотки, на которых вынесены точки проанализированных образцов и положение фотографий разрезов (черные квадраты с белыми цифрами).

1 — конгломерат; 2 — песчаник; 3 — чередование песчаник—аргиллит; 4 — аргиллит; 5 — интракласты аргиллитов; 6 — конкреции; 7 — пирит; 8 — фаунистические остатки; 9 — значимые растительные остатки; 10 — несогласие; 11 — образцы и их номера: а — для Чукотки, б — для о. Врангеля; 12 — пробы на датирование обломочных цирконов; 13 — направление сноса обломочного материала по замерам косой слоистости и слепкам. Фотографии: 1 — общий вид отложений карьера, р. Кытеп-Гуйтенрывеем, среднее течение; 2 — прослой песчаника в верхней толще карнийских отложений, р. Малый Анюй, правый берег, 28 км трассы Билибино—аэропорт Кеппервеем; 3 — общий вид отложений норья, хорошо видно среднеплитчатое чередование песчаников и алевроаргиллитов, р. Мачваваам, верхнее течение, правый берег (человек для масштаба); 4 — фрагмент разреза правого берега р. Мачваваам, в алевропесчанике наблюдается косоволнистая и слабовыраженная косая слоистость, чередующаяся с ламинарной; 5 — фрагмент разреза р. Ургувеем (южнее м. Кибера), бесструктурный песчаник с конкрециевидным стяжением.

песчаника с линзовидной и косой разнонаправленной слоистостью, иногда отмечается слабовыраженная эрозионная подошва алевритовых прослоев.

Верхняя песчаная толща сложена песчаниками и алевропесчаниками, тонкоритмичные алевроаргиллиты имеют подчиненное значение (см. рис. 3, фото 1, 2, 4, 5, 8). Мощность песчаных прослоев составляет 10—30 см, иногда может достигать 50 см и более. Наибольшие мощности песчаной толщи

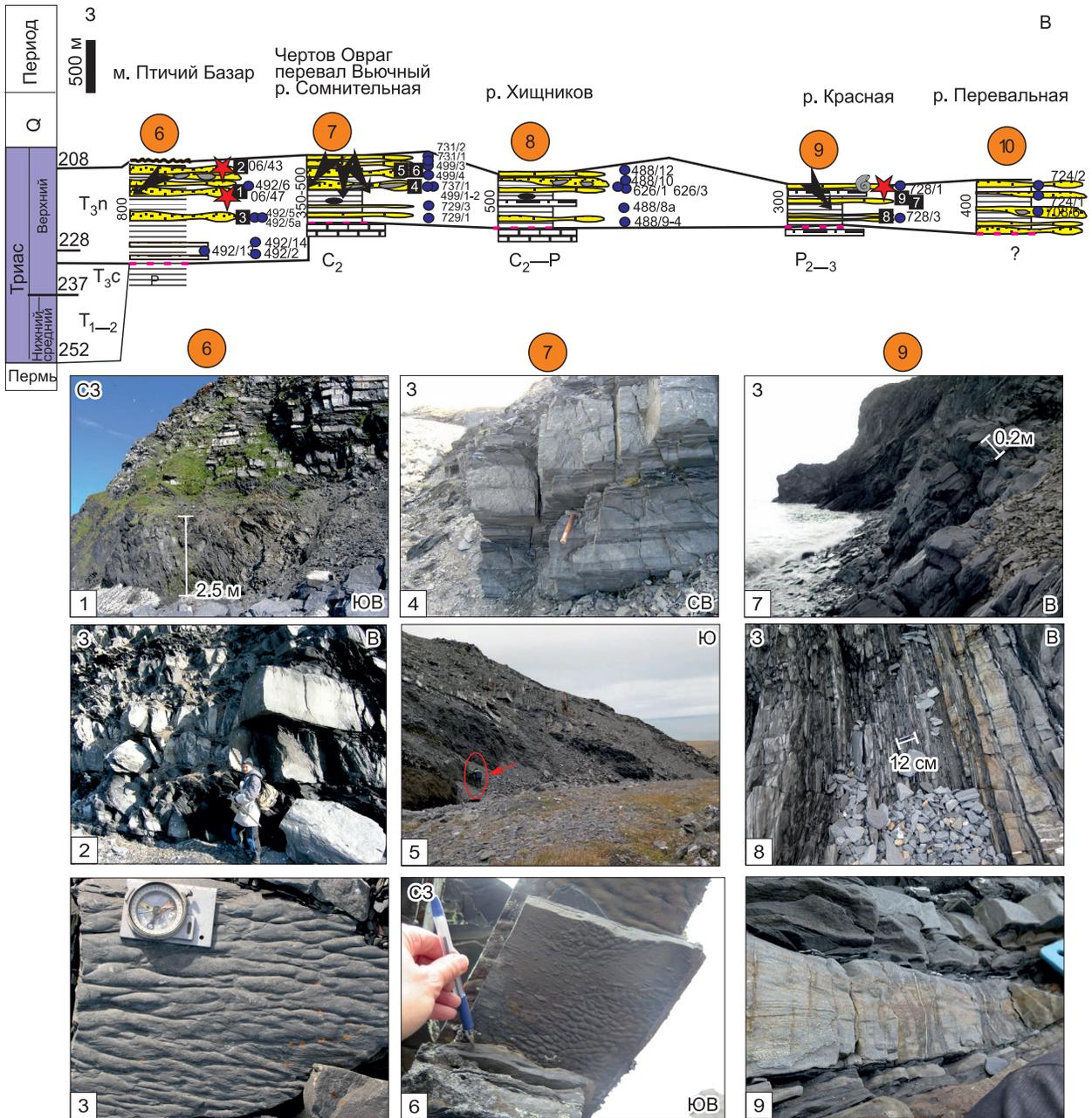


Рис. 3. Сводные разрезы верхнетриасовых отложений о. Врангеля, на которых вынесены точки проанализированных образцов и положение фотографий разрезов.

Усл. обозн. см. на рис. 2. Фотографии: 1 — выходы деформированных песчаной (вверху) и аргиллитовой (внизу) толщ на западе острова, м. Птичий Базар, фото снято с запада на восток; 2 — фрагмент песчаной толщи, представленной чередованием мощных песчаных прослоев, перекрывающих друг друга, м. Птичий Базар; 3 — однонаправленные подошвенные знаки течения в основании песчаного прослоя, м. Птичий Базар; 4 — фрагмент разреза Чертов Овраг, прослой серого песчаника (в верхней части фото) подстилается и перекрывается ритмичным переслаиванием алевроаргиллитов (соответственно светлых и темных полос в нижней части фото) с горизонтальной слоистостью; 5 — общий вид разреза верхнего триаса в устье Чертов Овраг, в верхней части склона прослеживается песчаная толща, в нижней — аргиллитовая, фото снято с севера на юг; 6 — подошвенные знаки нагрузки и следы палеотечения в основании прослоя песчаников, разрез Чертов Овраг, направление сноса указывает ручка; 7 — общий вид разреза в устье р. Красная; 8 — ритмичное переслаивание песчаников и алевроаргиллитов в разрезе р. Красная; 9 — разнонаправленная косая слоистость в известковом песчанике, устье р. Красная.

составляют в целом 150—250 м, они зафиксированы на западе острова, на м. Птичий Базар, а также в бассейне р. Хищников и в разрезе Чертов Овраг, где песчаники формируют амальгамированные пачки мощностью 8—10 м, редко больше. В восточных разрезах песчаная толща имеет меньшую мощность, не более 80—100 м, при этом пачки амальгамированных песчаников составляют не более 20 м.

Песчаники или с градационной слоистостью, или бесструктурные массивные могут содержать тонкие линзовидные прослой аргиллитов, редко в песчаниках встречаются единичные сидеритовые конкреции (р. Хищников) и разнонаправленная косая слоистость (см. рис. 3, фото 9). В основании многих песчаных прослоев наблюдаются эрозионные контакты, знаки ряби, в некоторых следы течения осадка, которые представлены продольными желобковыми валиками разного размера (см. рис. 3, фото 3, 6). В бесструктурных песчаниках наблюдаются маломощные прослойки линзовидных аргиллитов. В наиболее песчаных частях разреза, в основании прослоев песчаников отмечаются крупные обломки аргиллитов, обломки плоские, с чуть сглаженными краями, по составу аналогичны фоновым аргиллитам.

В связи с тем, что находки фауны в породах Чукотки и о. Врангеля единичны и встречаются не повсеместно, наиболее информативным при построении разрезов являются литологические данные. По результатам регионального геологического картирования и собственным наблюдениям авторов, граница между карнийскими и норийскими отложениями Чукотки фиксируется на основании смены характера осадконакопления. Для нория характерно тонкоритмичное чередование алевроаргиллитов с очень редкими прослоями мелкозернистых высококварцевых песчаников. Для тонкоритмичной части разреза характерны многочисленные отпечатки монотисов и ходы илоедов. При описании разреза в бассейне р. Амгуэма (Чукотка) авторы пользовались материалами О.М. Морозова [2001]. На о. Врангеля разделить карнийские отложения от норийских пока не представляется возможным.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Петрография песчаников. Песчаники Чукотки и о. Врангеля кливажированы, обломочные компоненты часто сплюснены и вытянуты вдоль кливажа.

В образцах Чукотки песчаники средне-мелкозернистые, сортировка обычно средняя, редко плохая, преобладающий размер зерен в карнийских песчаниках составляет 0.2—0.3 мм, в норийских 0.1—0.2 мм. В образцах песчаников о. Врангеля сортировка плохая и средняя, преобладающий размер зерен 0.1—0.2 мм, и только в разрезах рек Хищников и Красная преобладают зерна 0.15—0.25 мм.

В образцах Чукотки содержание матрикса в целом составляет 3—5 %, а в единичных образцах карния не превышает 10 %, в норийских глинистый матрикс составляет 10—15 %. На о. Врангеля слюдизированный глинистый матрикс совместно с катаклазированными фрагментами зерен составляет 10—15 %. Цемент песчаников Чукотки пленочный хлорит-слюдистый, неравномерно распределенный поровый кальцитовый или железисто-кальцитовый. В песчаниках о. Врангеля цемент также представлен хлорит-слюдистыми или слюдисто-хлоритовыми тонкими пленками, окаймляющими обломочные зерна. Во всех образцах песчаников о. Врангеля отмечены пятнистые выделения железистого кальцита и изредка доломита. Единичный образец с обломками фауны характеризуется базальным карбонатным цементом и размером зерен 0.1—0.4 мм (обр. 728/4, р. Красная). В песчаниках обоих районов встречается органическое вещество в виде аморфной массы неправильной формы, частично выполняющей поровое пространство, в некоторых случаях отмечены обломки углефицированных растительных остатков.

По петрографическому составу верхнетриасовые песчаники Чукотки и о. Врангеля относятся к лититовым ареникам с содержанием кварцевых зерен от 9 до 65 % (табл. 1; рис. 4, а). На диаграммах состава обломков пород образцы о. Врангеля по сравнению с образцами Чукотки характеризуются более низким содержанием вулканитов (см. рис. 4, б) и повышенным содержанием метаосадочных пород (Lm) (см. рис. 4, в).

Состав минералов тяжелой фракции песчаников. В составе тяжелой фракции отмечены минералы, обычно не относимые к аксессуарным (табл. 2). Во всех проанализированных образцах о. Врангеля и в некоторых образцах Чукотки присутствуют Fe-минералы (пирит, халькопирит, лимонит и корки гематита), Са-минералы (кальцит и доломит), хлорит и слюды, и также сростки кварца, слюд, полевого шпата, мусковита, хлорита, пирита в разных соотношениях (см. рис. 4, з).

Для образцов Чукотки состав минералов тяжелой фракции беден и представлен цирконом и хромшпинелидами, встречаются единичные амфиболы, силлиманит и в одном образце Чаунского субтеррейна (см. табл. 2) зафиксировано преобладание Са-минералов. Минералы титановой группы установлены в единичных образцах в незначительном количестве.

В образцах о. Врангеля, помимо перечисленных, в значимом количестве также присутствуют турмалин и апатит и немного эпидота. Наблюдается различие в составе образцов из разных частей острова. Для образцов с запада отмечены циркон-apatит-эпидот-титановая ассоциация, высокое (почти до 40 %) содержание кальцита и доломита и Fe-минералы. Для песчаников юго-восточной части острова отмечены циркон и турмалин, высокое содержание титанистых минералов, представленных рутилом, лейкоксеном

Таблица 1. Породообразующие компоненты песчаников верхнего триаса о. Врангеля и Чукотки (%)

№ образца	Местоположение	Возраст	Q _i	Pl	Pf	F _i	Lv 1	Lv 2	Ls 1	Ls 2	Ls 3	Lm 1	Lm 2	Lm 3	Lg	L _r	Mi	Sum
Чукотка																		
9991/2	р. Ургувеем	T ₃ c	59	7	16	23	11	14	—	1	5	8	—	6	20	65	4	151
200/6a	Каральвеем	»	30	5	14	19	—	5	—	—	—	1	—	8	23	37	9	95
200/9	»	»	34	18	20	38	—	6	—	—	—	12	—	4	12	34	6	112
GBZ-1	»	»	44	5	22	27	2	2	—	—	—	4	—	8	21	37	—	108
GBZ-2	»	»	17	10	8	18	—	10	—	—	—	6	—	10	22	48	1	84
201/5	р. Мал. Аной	»	48	6	6	12	—	—	4	2	—	4	—	2	38	50	3	113
9992/1	»	»	35	3	11	14	3	—	—	—	22	7	—	—	33	65	6	120
230/1	р. Ургувеем	»	41	7	16	23	—	3	—	—	—	9	—	—	17	28	15	107
230/5-1	»	»	38	12	28	40	12	4	—	—	—	—	4	14	24	54	10	142
230/5-2	»	»	48	12	30	42	8	4	—	—	—	—	8	12	42	50	12	152
328/3	»	»	58	10	20	30	24	8	—	—	—	2	10	6	34	76	12	176
328/7	»	»	12	16	21	37	28	—	—	—	1	—	22	4	—	55	5	109
203/1	Инсексвеем	»	14	12	12	24	31	10	—	—	2	6	—	—	42	81	—	119
203/4	»	»	16	16	12	28	28	—	—	—	2	—	22	8	—	60	2	106
203/6	»	»	80	16	22	38	4	6	—	—	—	10	2	10	32	58	12	188
207/7	р. Глубокая	T ₃ n	55	9	16	29	5	—	—	1	—	3	—	5	42	56	3	143
207/9	»	»	48	15	10	25	5	4	—	2	—	6	—	8	28	49	9	131
453/4	р. Иргунейвеем	»	80	16	18	34	31	—	4	—	3	—	20	—	36	94	8	216
454/3	р. Мачваваам	»	63	22	4	26	—	8	—	8	—	—	9	—	26	51	13	153
454/8-2	»	»	43	10	—	10	—	5	5	6	—	—	18	—	18	52	12	117
456/4	хр. Пырканий	»	46	18	8	26	6	—	1	—	—	18	—	—	60	85	13	170
о. Врангеля																		
488/12	р. Хищников	T ₃ c-n	37	20	2	22	—	7	—	10	—	—	22	—	36	75	2	136
626/1	»	»	70	14	25	39	—	—	2	—	—	—	45	—	18	65	3	177
641/1	р. Неизвестная	»	55	9	11	20	—	—	5	—	—	—	30	—	25	60	—	135
724/1	р. Перевальная	»	28	3	14	17	2	—	—	—	—	—	45	—	23	69	—	114
729/1	Чертов Овраг	»	46	2	14	16	1	—	1	—	—	—	51	—	22	63	—	125
731/2	руч. Вьючный	»	32	—	33	33	—	—	—	—	—	—	45	—	40	85	—	150
492/2	м. Птичий Базар	»	33	17	1	18	—	5	—	4	—	—	13	—	27	49	3	103
708/6	р. Кр. Флаг— м. Уэринг	»	38	13	27	40	—	8	—	—	—	17	18	3	27	46	7	124

Примечание. Q_i — весь кварц; Pl — плагиоклазы; Pf — калиевый полевой шпат и несдвойникованный; F_i — полевые шпаты все. Обломки вулканитов: Lv 1 — андезибазальты; Lv 2 — кислые эффузивы. Обломки осадочных: Ls 1 — песчаники, алевропесчаники; Ls 2 — углистые сланцы; Ls 3 — кремни. Обломки метаморфических пород: Lm 1 — слюдяные сланцы; Lm 2 — кварц-серицитовые сланцы; Lm 3 — метаосадочные; Lg — гнейсы и гранитоиды; L_r — обломки пород все. Mi — слюды: биотит и мусковит; Sum — общее количество подсчитанных зерен.

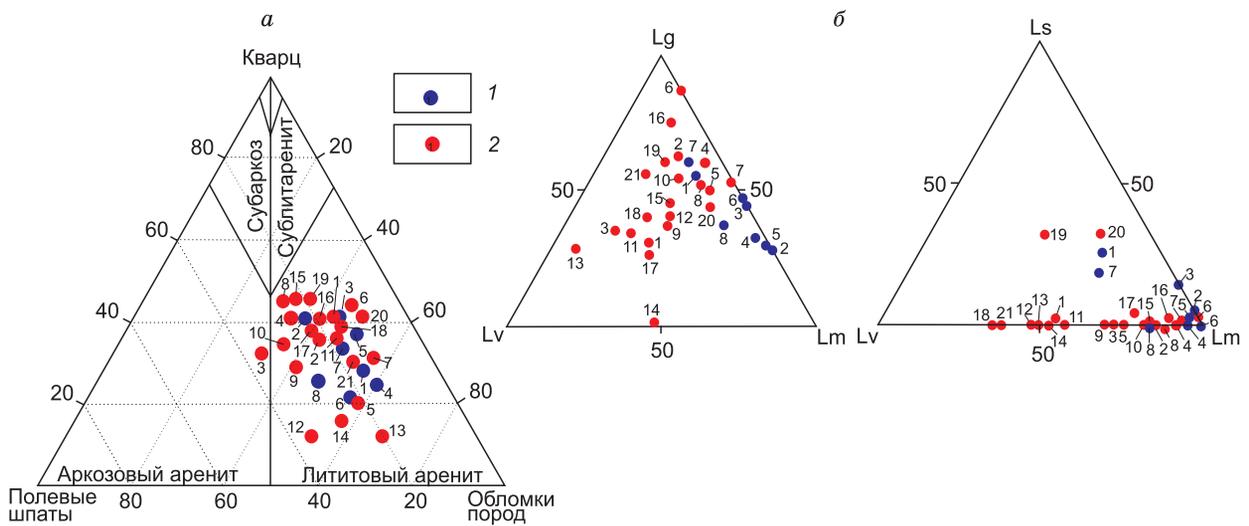
и анатазом, в одном образце определен ильменит (р. Красная), а также хлорит и слюды. В песчаниках р. Хищников отмечено присутствие кварц-мусковит-хлоритовых и кварц-рутил-мусковитовых сростков, а в образцах разреза Чертов Овраг — гематит-мусковитовых.

Вторичные структуры и ассоциации новообразованных минералов указывают на преобразования песчаников до уровня зеленосланцевого метаморфизма (о. Врангеля, Чукотка) и анхиметаморфизма (Чукотка) с формированием новообразованных слюд (фенгита и иллита), преимущественно вдоль кливажных трещин.

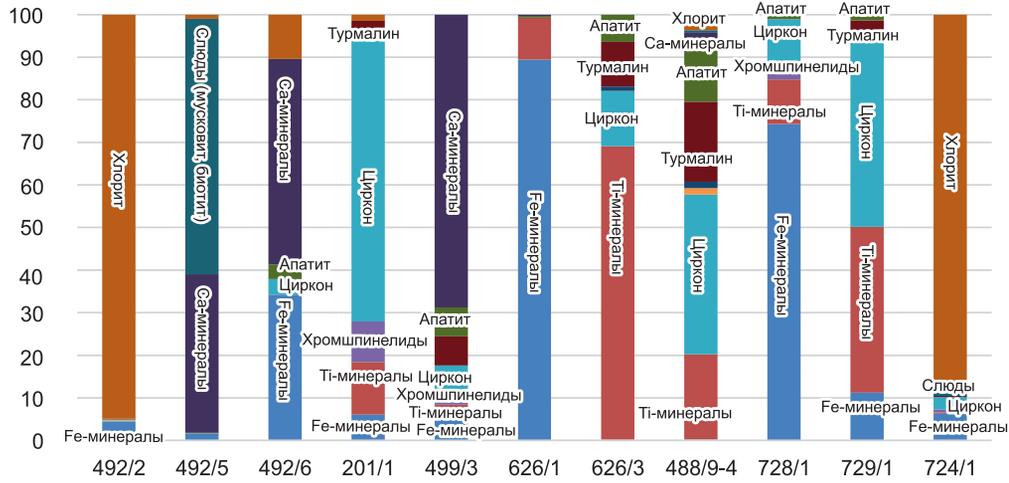
Аргиллиты кливажированные, темного цвета, в шлифах отмечено рассеянное тонкодисперсное органическое вещество, которое также присутствует в виде пятен (0.1—0.2 мм) и вдоль кливажа, сложены агрегатом слюда-хлорит-кварц в разных соотношениях.

На Чукотке в единичных образцах встречается примесь алевритовых зерен в количестве 1—3 %, они представлены кварцем, полевыми шпатами и мусковитоподобными слюдами, также могут присутствовать мелкие фрагменты растительности (не крупнее 0.3 мм).

Кливажированные аргиллиты о. Врангеля отличаются от аргиллитов Чукотки наличием зерен алевритовой размерности во всех просмотренных образцах (рис. 5, а), количество которых составляет 3—10 % и больше. Как и в аргиллитах Чукотки, они представлены кварцем, полевыми шпатами, слюдами. Органическое вещество отмечается вдоль кливажных трещин или в виде тонкодисперсного агрегата в массе породы. При наличии в шлифе значимого количества ОВ количество алевритовых зерен заметно сокращается.



СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ В ПЕСЧАНИКАХ о. ВРАНГЕЛЯ, %



СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ В ПЕСЧАНИКАХ ЧУКОТКИ, %

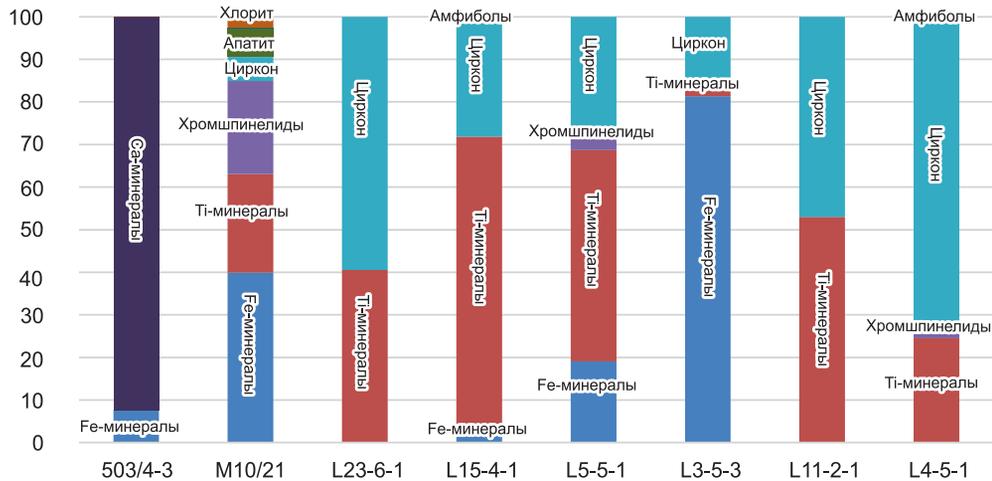


Рис. 4. Минеральный состав песчаников Чукотки и о. Врангеля.

1 — песчаники о. Врангеля; 2 — песчаники Чукотки. а — треугольная классификационная диаграмма для песчаников, поля диаграммы соответствуют классификации Дотта с изменениями Ф.Дж. Петтиджона [1981]. б — треугольные диаграммы состава обломков пород в песчаниках. Lg — обломки гранитоидных пород, Lv — обломки вулканогенных пород, Lm — обломки метаморфических пород, Ls — обломки осадочных пород. Более детальные объяснения в тексте. в — состав минералов тяжелой фракции в песчаниках о. Врангеля и Чукотки.

Таблица 2. Состав минералов (мас. %) тяжелой фракции песчаников о. Врангеля и Чукотки

№ образца	Местоположение	Возраст	Fe-минералы	Ti-минералы	Гранат	Сг-минералы	Циркон	Амфиболы	Эпидот	Турмалин	Апатит	Са-минералы	Слюды	Хлорит
о. Врангеля														
201/1	р. Сомнительная	T ₃ c-n	5.3	10.7	0.01	8.3	59	0	0	2.3	0.01	0	0	1.3
626/1	р. Хищников	»	2.8	0.3	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0
626/3	»	»	0.1	46.21	0	0	8.7	0.01	0.7	7	4.3	0	0	0
488/9-4	»	»	0.1	9.3	0	0	17.4	0.7	0	8.7	6.2	1.3	0.3	1.7
728/1	р. Красная	»	61.1	8.6	0	1.3	10.3	0	0	0	0.9	0	0	0
729/1	руч. Вьючный	»	3.9	13.5	0	0	15.7	0	0	1.1	0.5	0	0	0
724/1	Переезд	»	5.9	0.3	0	0.7	2.7	0	0.01	0.3	0.01	0	0.7	83.7
499/3	Чертов Овраг	»	1.7	0.41	0	0.3	2	0	0	1.7	1.7	17.2	0	0
492/2	м. Птичий Базар	»	4.5	0	0.1	0	0.1	0.3	0	0	0.02	0.1	0	0
492/5	»	»	1.7	0.01	0.01	0	0.1	0	0	0	0.01	37.2	60	95.2
492/6	»	»	27.3	0.01	0	0.01	3	0	0	0.01	2.7	38.6	0	1
Чукотка														
L-23-6-1	м. Шелагский	T ₃ c	0	6.61	0	0	9.7	0	0	0	0	0	0	0
L-15-4-1	р. Романовская	»	0.6	21.1	0	0	8.2	0.3	0	0	0	0	0	0
L-5-5-1	м. Млельин	»	10.9	28.4	0	2.1	15.8	0	0	0	0	0	0	0
L-3-5-3	р. Пырканайваам	T ₃ n	5.7	0.1	0	0.01	1.2	0	0	0	0	0	0	0
L-11-2-1	гора Катлынай	T ₃ r?	0	38.2	0	0	33.9	0	0	0	0	0	0	0
L-4-5-1	хр. Ыыройгынай	»	0	7.41	0	0.3	22.2	0.3	0	0	0	0	0	0
503/4-3	Баракы 44 км	»	7.5	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0

Для детализации состава некоторые образцы были проанализированы с помощью рентгеноструктурного анализа. Для аргиллитов Чукотки содержание хлорита составляет 31—86 %, слюды 10—61 %, смешанослойные минералы и смектит 1—6 %, в одном (обр. 416/3) обнаружен каолинит в количестве 13 % (см. рис. 5, б). В аргиллитах о. Врангеля, наоборот, преобладает слюдистый минерал (от 60 до 90 %), содержание хлорита существенно ниже и составляет 7—18 %, смектит и смешанослойный хлорит-смектит составляют в сумме 4—6 % (см. рис. 5, б). В обр. 492/14 обнаружен каолинит (2 %).

Обломки (интракласты) аргиллитов в Чукотских разрезах обнаружены в основании песчаных прослоев на северо-западе Анюйского субтеррейна, в разрезах бассейнов рек Раучуа—Малый Анюй, наиболее заметные в обрывах ручья Бараний (рис. 6, а). Прослой песчаника мощностью 15—25 см с обломками аргиллитов формируют пачки до 1.5—2.5 м. Обломки уплощенные размером 3—5 см, полуокатанные, часто имеют однонаправленное расположение в слое. Формирование таких обломков происходит в процессе движения потока по склону с захватом фрагментов породы подстилающего слоя. При дальнейшем движении в потоке нелитифицированный фрагмент приобретает округлую или приближенную к округлой форму, обломок литифицированной породы — окатанность. Определить глубину накопления песчаников в данном случае затруднительно, но очевидно, что это не зона прибрежного мелководья.

В песчаниках о. Врангеля обломки аргиллитов отмечены в верхней песчаной толще м. Птичий Базар, в устье Чертова Оврага, в низовьях р. Хищников, в меньшем количестве в разрезе устья р. Красная. Они локализованы в подошвенной части песчаных прослоев. Обломки плоские, практически не окатанные, слегка удлиненной формы, размером 2 × 6 × 5 до 10—15 см в поперечнике (см. рис. 6, б, в). В разрезе Чертов Овраг уплощенные обломки аргиллитов достигают 35—40 см в длину, занимая до 1/3 мощности песчаного прослоя. Образование прослоев песчаников с неокатанными крупными интракластами аргиллитов предполагает их недалекий перенос в гидродинамически активных условиях в мелководных обстановках. Вероятнее всего, их происхождение связано с размывом межлопастных зон при изменении положения песчаной лопасти продельты.

Геохимия песчаников и аргиллитов (табл. 3, 4). Для определения уровня реседиментации используется диаграмма Th/Sc—Zr/Sc, так как соотношения этих элементов не подвержены значительным изменениям в процессе преобразования осадков в породу [Taylor, McLennan, 1995]. Проанализированные образцы песчаников расположены в поле композиционного разнообразия, несколько анализов на границе поля рециклинга (рис. 7, а), следовательно, обломочный материал не был переотложен и отражает состав источника.

Для проверки этого результата была использована диаграмма соотношений Al, Ti и Zr [Sawyer, 1986; Floyd, Leveridge, 1987; Garcia et al., 1994; Gu et al., 2002]. Интерпретация составов обломочных пород на этой диаграмме основана на том, что при седиментации относительные пропорции элементов передаются от питающей провинции в осадок практически без изменений. Все проанализированные

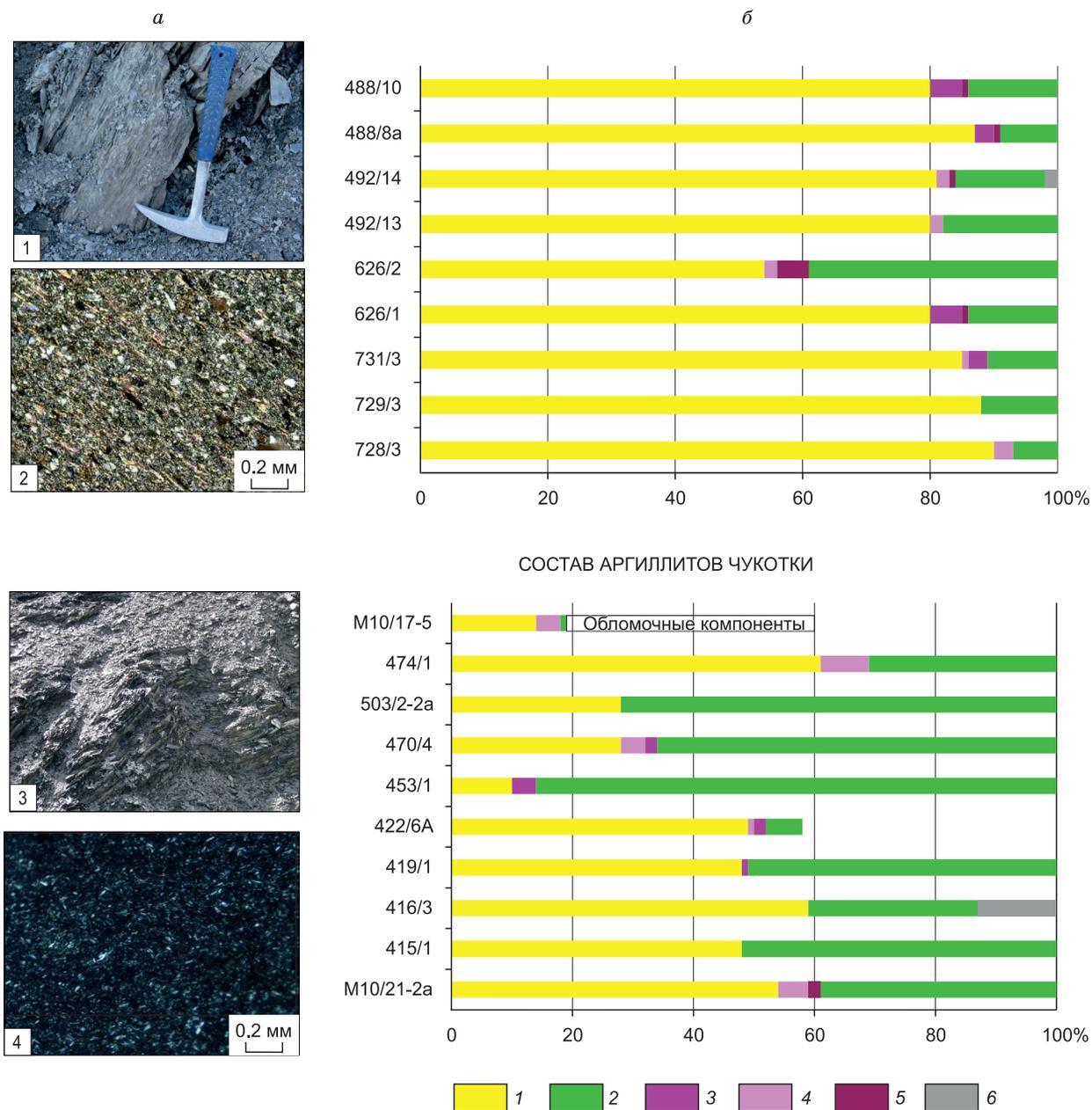


Рис. 5. Состав и фотографии типовых аргиллитов о. Врангеля и Чукотки.

а — фотографии, иллюстрирующие макро- и микроописание аргиллитов: 1 — общий вид аргиллитов в береговых обрывах р. Хищников, обр. 626/2; 2 — микрофотография шлифа обр. 626/2, общий вид; 3 — общий вид аргиллитов норья, отроги хр. Пырканай, обр. 470/3; 4 — микрофотография шлифа обр. 422/5, общий вид. *б* — состав аргиллитов по результатам рентгеноструктурного анализа, номера образцов расположены слева от диаграмм, процентное соотношение рассчитано из дифрактограмм. 1 — слюда; 2 — хлорит; 3 — смешанослойный хлорит-сметит; 4 — смешанослойный слюда-сметит; 5 — сметит; 6 — каолинит.

образцы расположены в поле песчаники—сланцы, занимая положение, близкое в PAAS (Post Archean Australian Shale), что указывает на отсутствие перемыва и переотложения осадка (см. рис. 7, б).

Соотношение Th/U—Th в песчаниках (см. рис. 7, в) отражает тренд выветривания обломочного материала, все проанализированные образцы располагаются вблизи значения Th/U = 3,8, соответствующего среднему составу верхней континентальной коры, и означают ее сильное влияние. Эта закономерность характерна как для песчаников, так и для аргиллитов — обе гранулометрические группы формируют единое поле.

Для выяснения состава пород источников сноса были использованы диаграммы и соотношения геохимических элементов. На диаграмме Co/Th—La/Sc проанализированные образцы заняли положение



Рис. 6. Обломки аргиллитов в песчаниках верхнего триаса Чукотки и о. Врангеля.

a — не крупные плоские обломки аргиллитов в основании песчаного прослоя, разрез отложений карния, ручей Бараний; *б* — крупные плоские, иногда угловатые, перекрывающиеся друг друга обломки аргиллитов в основании слоя песчаников, м. Птичий Базар (о. Врангеля); *в* — крупные и мелкие обломки аргиллитов в основании прослоя песчаников в основании разреза верхнего триаса, Чертов Овраг (о. Врангеля).

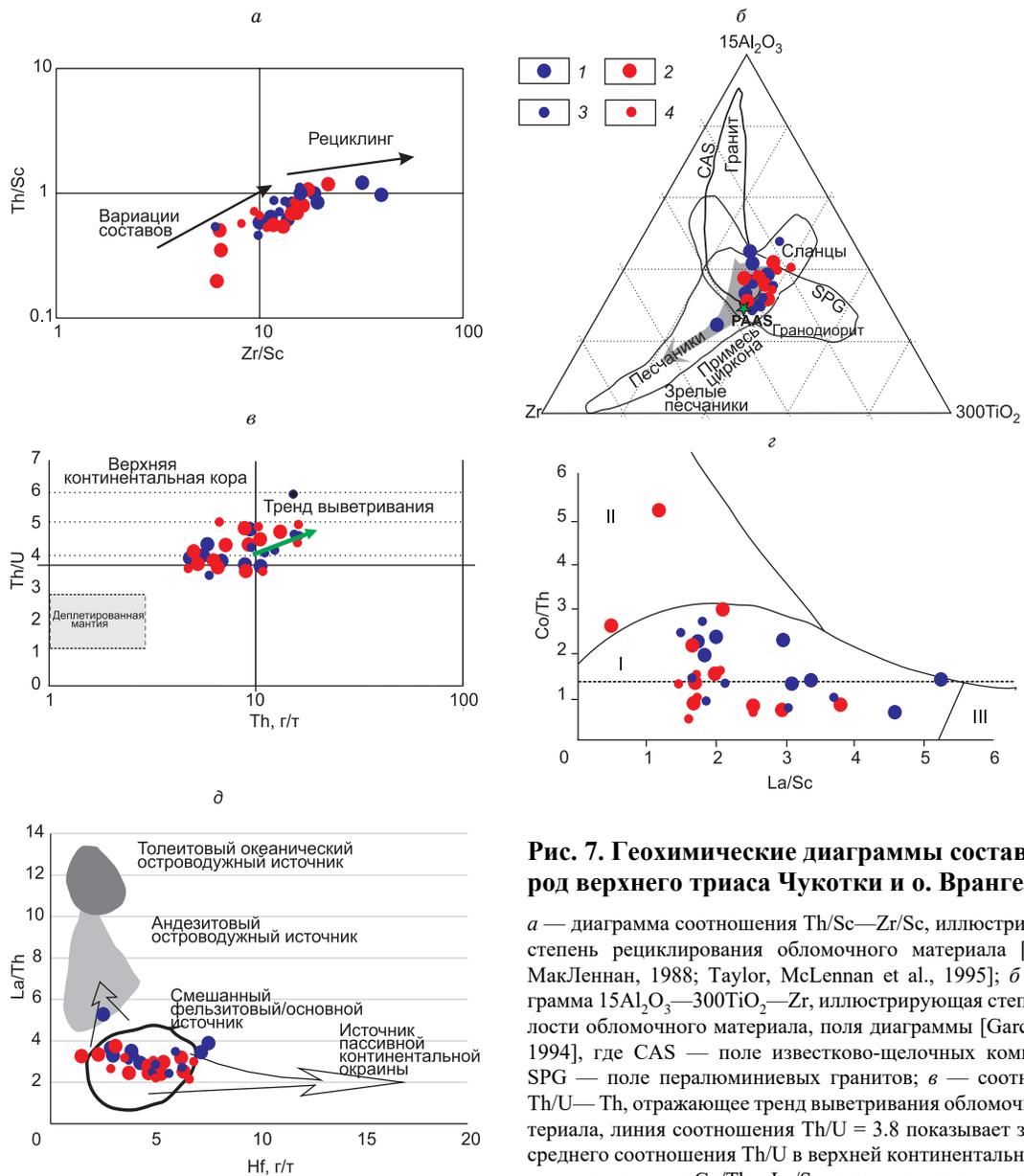


Рис. 7. Геохимические диаграммы составов пород верхнего триаса Чукотки и о. Врангеля.

a — диаграмма соотношения Th/Sc — Zr/Sc , иллюстрирующая степень рециклирования обломочного материала [Тейлор, МакЛеннан, 1988; Taylor, McLennan et al., 1995]; *б* — диаграмма $15Al_2O_3$ — $300TiO_2$ — Zr , иллюстрирующая степень зрелости обломочного материала, поля диаграммы [Garcia et al., 1994], где CAS — поле известково-щелочных комплексов, SPG — поле пералюминиевых гранитов; *в* — соотношение Th/U — Th , отражающее тренд выветривания обломочного материала, линия соотношения $Th/U = 3.8$ показывает значение среднего соотношения Th/U в верхней континентальной коре; *з* — соотношение Co/Th — La/Sc , отражающее влияние разных

источников сноса на осадконакопление: (I) размыв гранодиоритов или пород, близких к среднему составу континентальной коры, (II) увеличение роли основных пород, (III) увеличение роли кислых пород, классификационные поля из работы [Gu et al., 2002]; *д* — диаграмма соотношения La/Th — Hf , отражающая разные типы источников сноса, классификационные поля из работы [Floyd, Leveridge, 1987].

Таблица 3.

**Содержание петрогенных, рассеянных и редкоземельных элементов
в верхнетриасовых песчаниках Чукотки и о. Врангеля**

Компо- нент	492/5	729/1	499/4	626/1	488/12	724/1	708/6	503/4-3	422/z	M10/21	454/3	453/1	456/4	456/2	L11-2-1	L11-3-1	L15-4-1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂ , мас. %	57.4	76.59	75.4	—	—	—	—	76.72	67.72	64.71	71.82	71.3	75.08	—	79.65	78.42	74.9
TiO ₂	0.85	0.42	0.42	—	—	—	—	0.44	0.73	0.99	0.82	0.63	0.4	—	0.44	0.52	0.68
Al ₂ O ₃	17.9	10.53	11	—	—	—	—	9.8	12.68	15.76	10.9	10.42	8.23	—	12.14	11.89	13.76
Fe ₂ O ₃	9.94	1.78	5.31	—	—	—	—	3.35	1.04	4.38	2.63	0.63	2.88	—	1.44	0.75	0.8
FeO	—	1.41	—	—	—	—	—	1.92	3.88	2.39	2.52	6.48	1.72	—	0.61	3.4	3.16
MnO	0.26	0.07	0.08	—	—	—	—	0.05	0.07	0.053	0.05	0.13	0.3	—	0.06	0.03	0.16
MgO	2.48	1.47	0.98	—	—	—	—	3.4	2.18	3.23	1.21	1.56	1.41	—	1.02	1.55	1.75
CaO	1.05	1.03	0.64	—	—	—	—	0.098	1.98	0.08	0.56	0.87	2.41	—	0.34	0.16	0.27
Na ₂ O	1.21	2.77	2.72	—	—	—	—	0.69	1.05	1.48	1.17	1.71	1.42	—	2.28	1.91	2.26
K ₂ O	2.54	0.93	0.89	—	—	—	—	1.01	1.93	1.73	1.51	0.97	0.93	—	1.94	1.23	2.08
Sc, г/т	16.3	6.6	8.02	6.9	6.9	15.1	8.0	9.7	11.8	17.0	10.9	13.1	14.3	33.4	6.1	9.1	9.9
V	140	50.6	52.7	52.9	47.7	81.4	48.9	59.5	99.6	120	131	105.0	49.6	54.9	51.0	83.8	66.2
Cr	98.2	74.1	55.6	52.0	95.9	82.2	107	55.5	62.0	220	94.9	92.2	46.5	72.0	61.8	63.3	59.7
Co	20	7.3	11.1	12.4	9.01	19.2	5.8	10.4	19.3	8.8	13.1	13.5	25.8	17.0	5.6	5.1	7.0
Ni	72.4	27.1	39.2	44.5	28.8	65.9	21.2	35.8	58.5	43	35.5	47.9	39.3	44.4	20.4	27.9	32.5
Rb	105	34.4	31.9	32.5	40.3	64.8	42.1	36.0	53.2	68	37.9	74.7	39.4	41.2	73.1	49.1	123.5
Sr	145	92.6	64.6	86.3	127	79.5	92.6	32.4	50.4	99.0	91.3	85.0	100.0	56.4	85.4	57.2	50.5
Y	27.1	18.0	13.5	15.4	16.9	20.8	21.7	6.6	17.8	19.8	23.5	20.0	15.5	16.2	20.8	18.9	21.6
Zr	185	126	109	101	272	154	253	61.8	138	222	178	200.0	92.3	206.0	132.0	132.4	172.4
Nb	15.1	6.8	7.98	6.6	11.3	10.5	10.2	5.1	10.8	11.8	9.2	12.4	6.4	8.6	7.9	7.7	10.5
Ba	491	153	146	274	184	283	234	164.2	213.9	615.0	190.0	395.0	172.0	168.0	375.2	234.6	358.0
La	29.8	20.4	16	20.6	23.2	25.9	36.4	16.0	24.6	29.3	21.5	25.8	16.7	15.9	23.0	15.2	29.1
Ce	61	43.2	31.3	46.4	46.7	54.7	74.4	35.4	53.2	64.6	44.5	52.5	35.0	32.7	48.5	31.8	60.0
Pr	6.88	4.5	3.59	4.8	5.11	6.1	7.4	3.7	5.2	7.4	5.3	6.0	3.8	3.98	5.1	3.6	6.6
Nd	27.7	17.1	13.4	19.3	19.5	22.2	28.2	14.6	20.1	27.4	20.3	24.1	15.5	15.7	19.2	14.3	25.0
Sm	5.29	3.3	2.66	4.3	3.56	4.5	5.3	2.7	3.9	5.5	4.3	4.6	3.3	3.62	3.9	3.0	4.8
Eu	1.24	0.66	0.57	0.74	0.74	0.89	0.95	0.5	0.8	1.4	1.0	0.8	0.7	0.981	0.8	0.7	0.9
Gd	5.46	3.6	2.57	3.8	3.36	4.2	4.3	1.9	3.8	4.3	4.1	3.4	3.0	3.81	3.8	3.2	4.3
Tb	0.91	0.58	0.41	0.54	0.51	0.68	0.65	0.2	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.583	0.6	0.5	0.7
Dy	4.79	3.2	2.37	2.8	2.88	3.6	3.8	1.6	3.2	3.8	4.3	3.6	2.7	3.30	3.2	3.3	3.6
Ho	0.98	0.66	0.5	0.55	0.58	0.77	0.78	0.2	0.6	0.8	0.9	0.8	0.5	0.643	0.7	0.7	0.7
Er	2.73	1.9	1.33	1.6	1.67	2.4	2.3	0.7	1.9	2.3	2.5	2.3	1.5	1.80	2.0	2.0	2.2
Tm	0.44	0.26	0.21	0.22	0.27	0.36	0.35	0.1	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.260	0.3	0.3	0.3
Yb	2.74	1.7	1.32	1.5	1.76	2.4	2.3	0.9	1.9	2.3	2.5	2.4	1.5	1.75	2.0	1.9	2.2
Lu	0.42	0.25	0.21	0.22	0.28	0.36	0.35	0.13	0.26	0.4	0.4	0.4	0.2	0.276	0.3	0.3	0.3
Hf	4.86	3.9	3.04	3.0	7.22	4.3	7.6	1.5	3.1	6.3	4.7	5.4	2.3	5.30	3.7	3.8	4.7
Ta	0.91	0.48	0.56	0.43	0.66	0.75	0.72	0.33	0.59	0.7	0.7	0.9	0.4	0.6	0.5	0.6	0.7
Pb	6.41	16.0	4.87	4.0	8.79	21.9	13.5	21.5	12.5	5.7	12.9	10.4	15.3	8.4	14.1	11.4	121.4
Th	10.5	5.8	4.79	5.5	6.73	8.8	9.4	4.9	6.6	9.2	8.8	8.9	5.0	6.6	7.1	6.2	10.5
U	2.83	1.3	1.21	1.4	1.78	2.4	1.9	1.3	1.8	2.1	1.8	2.5	1.2	1.7	1.6	1.6	2.3

Примечание. 1—7 — Т₃-п: 1 — м. Птичий Базар; 2, 3 — Чертов Овраг; 4, 5 — р. Хищников; 6 — р. Кларк, низовья; 7 — верховья р. Кларк; 8 — Т₃-п-г, Бараки 44 км; 9 — Т₃-с, р. Малый Анной; 10 — Т₃-с, р. Ергувеем; 11 — Т₃-п, р. Мачваваам; 12 — Т₃-п, верховья р. Мачваваам, р. Иргунейвеем; 13, 14 — Т₃-п, хр. Пырканай; 15, 16 — Т₃-г, гора Катлынай, 17 — Т₃-с, верховья р. Романовская.

Таблица 4.

**Содержание петрогенных, рассеянных и редкоземельных элементов
в верхнетриасовых аргиллитах Чукотки и о. Врангеля**

Компо- нент	Аргиллиты о. Врангеля						Аргиллиты Чукотки						
	492/5а	726/2	726/6	728/3	729/3	626/2	503/2-1	503/2-2	474/1	451/9	L11-3-2	L15-4-2	456/11
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂ , мас. %	45.2	67.10	57.33	61.38	58.73	—	60.51	—	59.19	44.95	68.68	65.17	—
TiO ₂	0.63	0.65	0.83	1.06	1.09	—	1.09	—	0.94	1.28	0.9	1.03	—
Al ₂ O ₃	11.3	15.49	18.39	18.01	19.47	—	21.81	—	18.57	26.7	17.46	18.36	—
Fe ₂ O ₃	9.87	2.82	6.86	2.46	2.40	—	2.74	—	0.91	2.38	1.32	4.34	—
FeO	—	4.56	3.95	2.84	3.30	—	2.77	—	6.77	6.41	4.15	2.87	—
MnO	1.16	0.03	0.03	0.03	0.03	—	0.05	—	0.18	0.15	0.04	0.07	—
MgO	3.68	1.21	1.37	1.69	1.75	—	1.15	—	2.44	3.06	2.13	2.62	—
CaO	11.4	0.33	0.54	0.85	0.35	—	0.16	—	0.74	0.2	0.22	0.39	—
Na ₂ O	0.73	1.09	1.23	1.78	1.90	—	1.21	—	0.74	1.01	2.31	1.12	—
K ₂ O	1.8	1.4	2.15	2.68	4.03	—	2.85	—	2.28	5.43	2.64	3.82	—
Sc, г/т	4.75	13.5	17.5	14.4	17.7	11.5	13.3	16.6	12	28.0	12.1	21.9	29.4
V	73.2	85.4	141	126	115	83.7	139	122	83	314.0	152.7	147.8	217.0
Cr	37.1	62.8	93.6	109	111	83.0	109	118	370	169.0	85.7	114.7	94.8
Co	6.4	13.0	19.4	11.9	13.2	11.8	9.0	13.9	8	23.0	7.9	7.5	29.9
Ni	28.1	87.6	83.3	46.7	58.3	40.8	40.4	59.2	410	88.0	39.2	44.5	48.4
Rb	46.4	59.6	54	71.1	77.9	95.1	113	94.9	54.0	180.0	36.3	173.9	24.5
Sr	13.3	71.0	105	88.4	81.7	122	95.1	103	330.0	100.0	81.2	69.3	363.0
Y	11.8	19.3	28.5	28.4	35.2	32.7	29.8	23.9	15.2	36.1	25.0	36.4	40.8
Zr	88.3	169	206	228	237	207	216	166	127.0	228.0	178.8	206.8	258.0
Nb	6.02	11.0	16.8	17.3	19.4	14.2	14.7	12.4	8.3	20.6	12.9	14.8	19.1
Ba	1150	243	457	381	642	490	518.2	432	513	1557	445	770	698
La	24.9	22.7	37.1	43.8	32.7	42.5	33.9	28.1	17.5	48.2	30.6	35.0	45.7
Ce	49.6	50.4	84.5	95.7	68.3	87.5	68.4	58.8	36.1	101.9	62.8	78.9	95.1
Pr	5.51	5.7	9.4	10.9	7.9	9.6	7.8	6.6	4.5	11.5	7.4	8.6	12.0
Nd	20.5	21.6	34.5	38.0	29.0	36.4	31.4	25.8	16.6	42.8	26.9	34.0	47.7
Sm	3.64	4.1	6.6	6.9	6.6	7.0	6.1	5.1	3.2	8.7	5.2	7.0	9.79
Eu	0.81	0.83	1.4	1.2	1.4	1.2	1.2	1.1	0.7	2.0	1.2	1.5	2.51
Gd	3.18	3.8	5.7	5.2	6.2	6.5	5.4	4.9	3.0	8.1	4.7	6.7	8.70
Tb	0.46	0.63	0.91	0.83	1.0	0.99	0.8	0.75	0.5	1.2	0.7	1.1	1.36
Dy	2.29	3.3	5.1	4.8	6.2	5.5	5.2	4.5	2.8	7.0	4.3	6.1	8.09
Ho	0.42	0.69	1.1	1.0	1.3	1.13	1.1	0.87	0.6	1.5	0.9	1.2	1.71
Er	1.18	2.2	3.6	3.5	4.0	3.2	3.3	2.6	1.6	4.4	2.7	3.7	4.81
Tm	0.19	0.34	0.52	0.52	0.55	0.47	0.5	0.37	0.2	0.7	0.4	0.6	0.712
Yb	0.97	2.4	3.3	3.6	3.7	3.1	3.3	2.6	1.6	4.3	2.7	3.6	4.82
Lu	0.17	0.33	0.46	0.52	0.55	0.46	0.48	0.38	0.2	0.7	0.4	0.5	0.743
Hf	2.53	5.0	5.7	6.4	6.7	6.0	6.4	5.0	2.9	6.9	4.9	5.0	6.57
Ta	0.43	0.79	1.2	1.3	1.4	0.93	1.1	0.98	0.5	1.3	1.0	1.1	1.26
Pb	16.4	12.1	26.4	16.4	34.5	13.6	12.2	31.5	11.0	18.0	0.5	1.3	—
Th	4.72	9.5	15.3	16.1	15.2	12.3	13.2	10.8	6.6	16.0	10.3	15.8	23.6
U	1.3	2.2	3.3	3.5	2.6	2.9	2.7	3.0	1.3	3.2	2.1	3.6	4.24

Примечание. 1—6 — Т₃с-п: 1 — м. Птичий Базар, 2—4 — устье р. Красная, 5 — Чертов Овраг, 6 — р. Хищников; 7, 8 — Т₃п-г, Бараки 44 км; 9 — Т₃п, р. Энмынвеем; 10 — Т₃п, р. Мачваваам; 11 — Т₃п, гора Катлынай; 12 — Т₃с, верховье р. Романовская; 13 — Т₃п, хр. Пырканай.

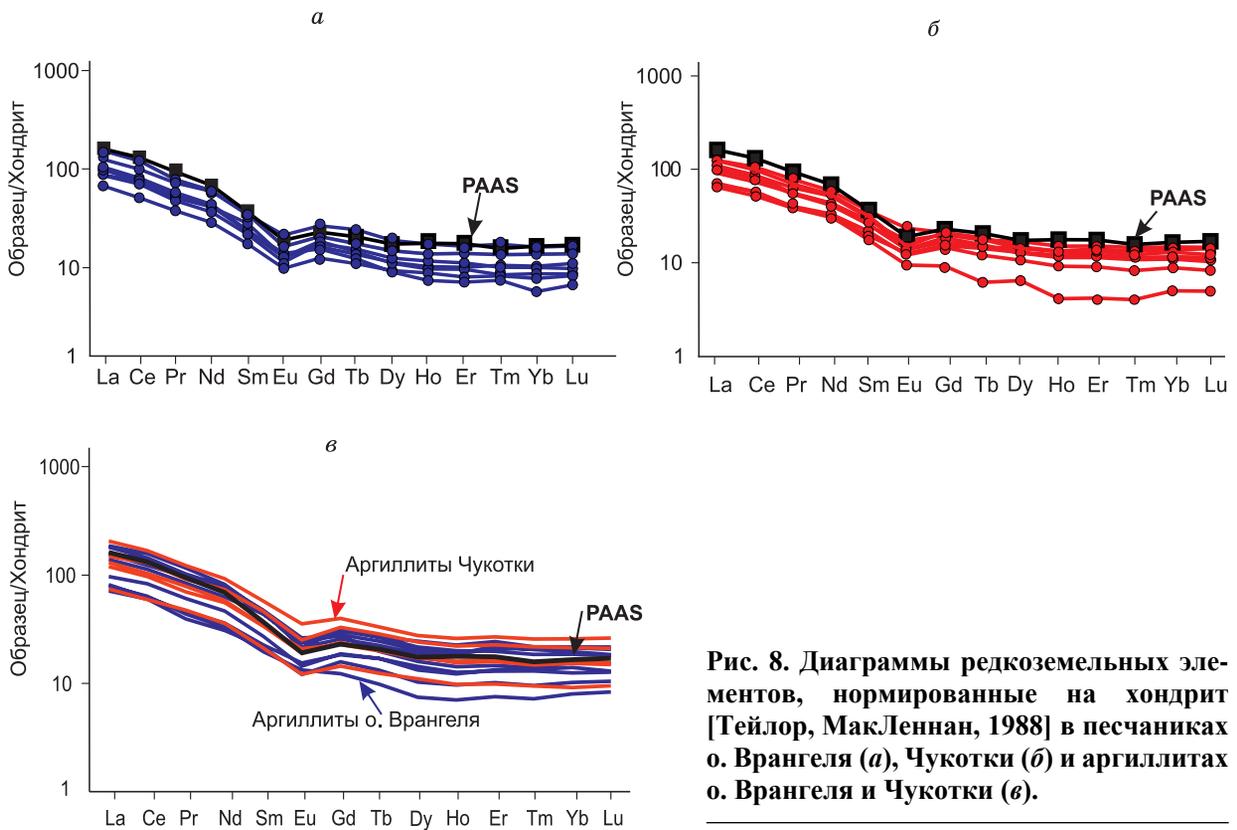


Рис. 8. Диаграммы редкоземельных элементов, нормированные на хондрит [Тейлор, МакЛеннан, 1988] в песчаниках о. Врангеля (а), Чукотки (б) и аргиллитах о. Врангеля и Чукотки (в).

вблизи или ниже горизонтали $Co/Th = 1.29$, разделяющей магматические породы кислого и среднего состава [Тейлор, МакЛеннан, 1988] (см. рис. 7, з). Образцы занимают поле размыва пород, близких к среднему составу континентальной коры или гранодиоритам. В нескольких образцах значения Co/Th повышены (обр. 456/4, 503/4-3, 422/z), что позволяет предполагать вклад пород основного состава, а низкое значение коэффициента Cr/V свидетельствует, что в состав размываемых комплексов не входили ультраосновные породы.

На диаграмме соотношений $La/Th—Hf$ (см. рис. 7, д) фигуративные точки песчаников и аргиллитов сконцентрированы в поле смешанного источника. На смешанный источник с влиянием верхней континентальной коры и недифференцированной островной дуги также указывает соотношение Th/U , которое составляет 4.0—4.2 для песчаников и ~4.6 для аргиллитов, при этом в составе верхней континентальной коры $Th/U = 3.8$ [Тейлор, Мак-Леннан, 1988].

Спектры распределения РЗЭ, нормализованных на хондрит, близки между собой (рис. 8). Наблюдается горизонтальный тип спектра тяжелых РЗЭ, обогащение легкими и отрицательная европиевая аномалия Eu/Eu^* , более значительная в тонкозернистых породах. Соотношение Eu/Eu^* почти не различается и составляет 0.68 и 0.70 в песчаниках и аргиллитах Чукотки, а в образцах о. Врангеля 0.65 и 0.67 соответственно. Характер спектров и Eu/Eu^* соотношения типичны для гранодиорита и отражают состав эродированной и выветривающейся верхней континентальной коры [Тейлор, МакЛеннан, 1988].

Изотопные данные. Изотопные исследования представлены Sm-Nd и U-Pb анализами

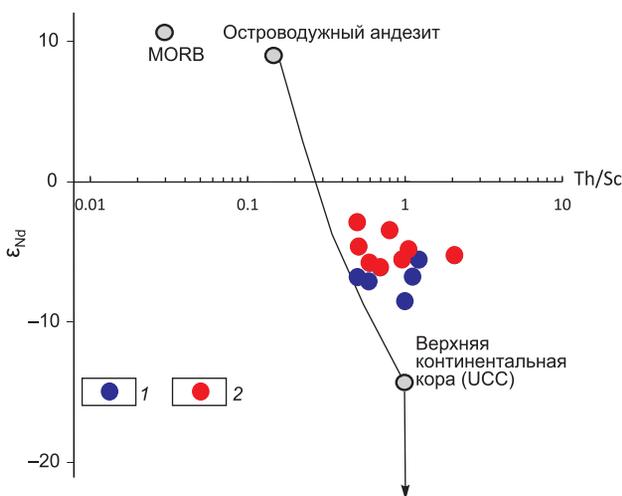


Рис. 9. Диаграмма соотношений $\epsilon_{Nd}—Th/Sc$ в осадочных породах о. Врангеля и Чукотки.

Песчаники: 1 — о. Врангеля, 2 — Чукотки.

Таблица 5.

**Изотопные соотношения Sm и Nd образцов терригенных пород
верхнего триаса о. Врангеля и Чукотки**

№ образца	Местоположение	Возраст стратиграфический	Литология	Nd	Sm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\varepsilon(0)$	$\varepsilon(T)$	$T(\text{DM})$, млн лет
				г/т						
о. Врангель										
492/5	м. Птичий Базар	T ₃ -п	Алевролит	4.46	27.8	0.09695	0.512291 ± 0.000002	-6.8	-3.9	1123
492/5a	»	»	Аргиллит	6.42	32.46	0.119601	0.512276 ± 20	-7.1	-4.9	1417
06/47	»	»	»	3.66	20.13	0.10974	0.512241 ± 16	-7.7	-5.3	1334
488/12	р. Хищников	»	Песчаник	3.56	20.14	0.106686	0.512201 ± 19	-8.5	-5.9	1355
728/1	р. Красная	»	»	13.39	2.599	0.117631	0.512329 ± 14	-6.03	-3.9	1300
728/3	»	»	Аргиллит	40.48	7.253	0.108306	0.512291 ± 17	-6.77	-4.4	1244
708/6	р. Перевальная	»	Песчаник	28.31	5.512	0.117711	0.512352 ± 11	-5.58	-3.46	1269
Чукотка										
422/z	р. Малый Аной	T ₃ c	Песчаник	19.86	3.106	0.094516	0.51234	-5.83	-2.945	1038
415/1	р. Кытепгуйтенривеем	»	Алевропесч.	55.57	9.44	0.102713	0.512198 ± 11	-8.58	-5.996	1309
462/2a	хр. Пырканай	»	Аргиллит	32.88	6.81	0.125215	0.51233 ± 17	-6.009	-4.158	1414
456/12	»	»	Алевропесч.	22.43	3.53	0.095621	0.512323	-6.145	-3.437	1069

(табл. 5). Анализ ε_{Nd} отношений показывает, что для образцов о. Врангеля основным источником сноса служила верхняя континентальная кора, для образцов Чукотки ее влияние меньше, снижаясь еще больше в норийских образцах (рис. 9). Модельный возраст мезопротерозойский, почти одинаков в образцах Чукотки и в образцах о. Врангеля. Он совпадает с модельным возрастом риолитов о. Врангеля, изотопный возраст которых составляет совместно с гранитами 590—610 млн лет [Luchitskaya et al., 2017].

Опубликованные данные по обломочным цирконам верхнетриасовых отложений Арктики в настоящее время весьма обширны [Miller et al., 2006, 2013; Omma et al., 2011; Midwinter et al., 2016], но нет работ, где представлено сравнение обломочных цирконов арктического Чукотского побережья и о. Врангеля. Нами были изучены образцы из собственной коллекции, по три образца с каждого объекта.

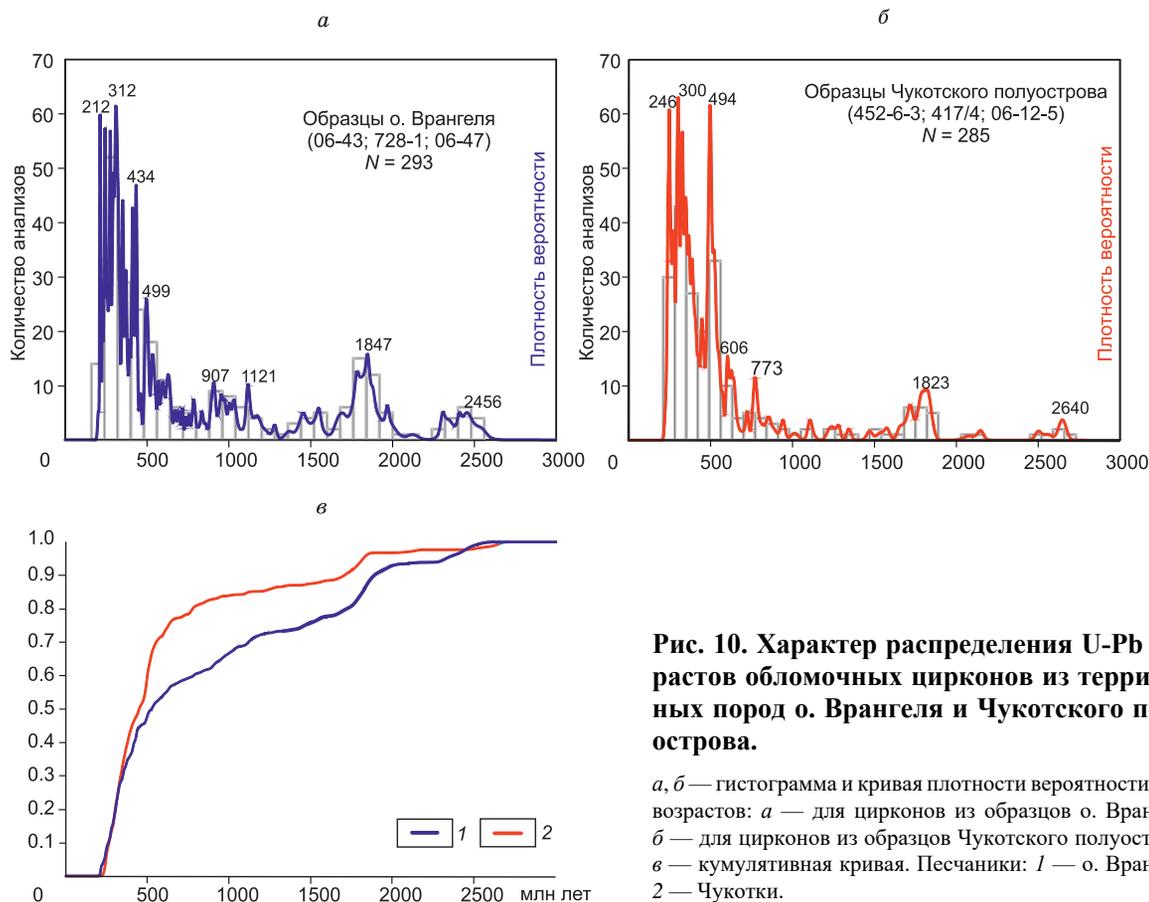


Рис. 10. Характер распределения U-Pb возрастов обломочных цирконов из терригенных пород о. Врангеля и Чукотского полуострова.

a, б — гистограмма и кривая плотности вероятности U-Pb возрастов: a — для цирконов из образцов о. Врангеля; б — для цирконов из образцов Чукотского полуострова; в — кумулятивная кривая. Песчаники: 1 — о. Врангеля; 2 — Чукотки.

Из образцов о. Врангеля докембрийские зерна циркона составляют около 40 % всех конкордантных возрастов (рис. 10), докембрийские зерна группируются в интервалах 2650—2200 млн лет (6 %); 2150—1600 (14 %); 1600—1300 (4 %); 1300—750 (12 %) и 580—630 млн лет (4 %). В перечисленных интервалах цирконы сконцентрированы вокруг максимумов 2456, 1847, 1121, 907 млн лет. Из образцов Чукотского полуострова докембрийские зерна составляют не более 21 % и сгруппированы вокруг интервалов 2150—1600 млн лет (11 %); 1300—750 (4 %); 580—630 (4 %), образуя пики 2640, 1823, 773, 606 млн лет. В других интервалах докембрия обломочные цирконы присутствуют в количествах не более 2 %.

Фанерозойская популяция обломочных зерен циркона из образцов о. Врангеля отвечает двум интервалам 480—540 (13 %) и 207—462 млн лет (47 %), концентрируясь вокруг максимумов 499, 434, 312, 212 млн лет, самый молодой пик соответствует 212 млн лет.

Обломочные цирконы фанерозойского возраста являются доминирующими и составляют около 80 % от всех популяций, наиболее представительными являются популяции с максимумами ~494, 300 и 246 млн лет. В отличие от образцов о. Врангеля, среди чукотских образцов отсутствует популяция моложе 223 млн лет, самый молодой пик отвечает 246 млн лет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Литологические характеристики верхнетриасовых отложений о. Врангеля и Чукотки, представленные в настоящей статье в сочетании с ранее опубликованными данными, позволяют более надежно интерпретировать фациальные и палеогеографические обстановки российской части Восточной Арктики. На о. Врангеля наличие разнообразных текстур и эрозионные контакты в песчаниках с подошвой свидетельствуют об активной гидродинамике и высокой скорости песчаных потоков. Обилие в основании прослоев песчаников крупных и неокатанных аргиллитовых обломков, аналогичных фоновым аргиллитам, свидетельствует о перемыве и переотложении синхронных песчаников тонкозернистых отложений. Некрупные линзы аргиллитов в бесструктурных песчаниках указывают на их формирование в межпотоковых интервалах. Накопление верхнетриасовых отложений о. Врангеля предполагается в обстановке мелководного шельфа, во фронтальных зонах не крупных дельт, расположенных на юго-востоке (Чертов Овраг, р. Хищников) и западе острова (м. Птичий Базар).

Увеличение мощности песчаников на западе острова свидетельствует о близости крупного русла — подобное изменение мощностей песков наблюдается в современных осадках [Рейнек, Сингх, 1981]. В других участках о. Врангеля (устье р. Красная, р. Красный Флаг—м. Уэринг) предполагается наложение песчаных пачек друг на друга при смене положения песчаных русел (рис. 11). Дополнительным аргументом в пользу мелководного генезиса является повсеместное присутствие в аргиллитах о. Врангеля зерен алевритового размера (до 10 %, иногда более). Такая обстановка встречается в условиях прибрежного шельфа, где из фронта дельты приносятся алевропесчаные осадки. Данная интерпретация дополняет высказанные ранее М.К. Косьюко [Остров..., 2003] предположения о проксимально турбидитовом генезисе отложений верхнего триаса о. Врангеля.

Мелководный генезис верхнетриасовых отложений о. Врангеля предполагает близость области седиментации к размываемым породам. В самом деле, наличие в составе тяжелой фракции песчаников о. Врангеля (р. Хищников) кальцита, доломита, анкерита, эпидота и апатита, а также разнообразных сростков минералов (кварц-мусковит-хлорит, кварц-полевой шпат-кальцит-пирит, гематит-мусковит) свидетельствует о близости источника сноса, так как эти компоненты не переносят длительной транспортировки.

К тому же по составу тяжелой фракции о. Врангеля выявляются два доминирующих источника. Западная дельта (м. Птичий Базар) приносила в бассейн большое количество продуктов размыва карбонатных пород, вероятно, силурийских или каменноугольных, выходящих ныне на поверхность острова. Из дельты в юго-восточной части острова (Чертов Овраг, р. Хищников, р. Красная, м. Уэринг) поступали продукты размыва гранитоидных, метаморфических комплексов и пород основного состава, что подтверждается петрографическими данными. Более кварцевый состав лититовых аренитов и ассоциация апатит—циркон—сфен с мусковитом подтверждают размыв пород кислого состава (см. рис. 4, а, з). Породы основного состава в источнике подтверждаются соотношениями Co , Ni и Cr , присутствием ильменита, лейкоксена и хромшпинелидов в составе тяжелой фракции, а эпидот и хлорит свидетельствуют об их преобразованиях.

Накопление верхнетриасовых отложений Чукотки происходило в бассейне с проградирующим шельфом [Тучкова и др., 2007; Tuchkova et al., 2009, 2014]. В карнийском веке осадконакопление происходило в основании континентального склона в зоне влияния конуса и в его межлопастных участках с тонкозернистыми осадками (рис. 12). Норийские отложения накапливались на широком пологом шельфе, тонкоритмичные алевролиты-аргиллиты нория с единичными песчаными прослоями содержат большое количество остатков раковин *Monotis*. Этот факт подтверждает, что накопление осадков про-

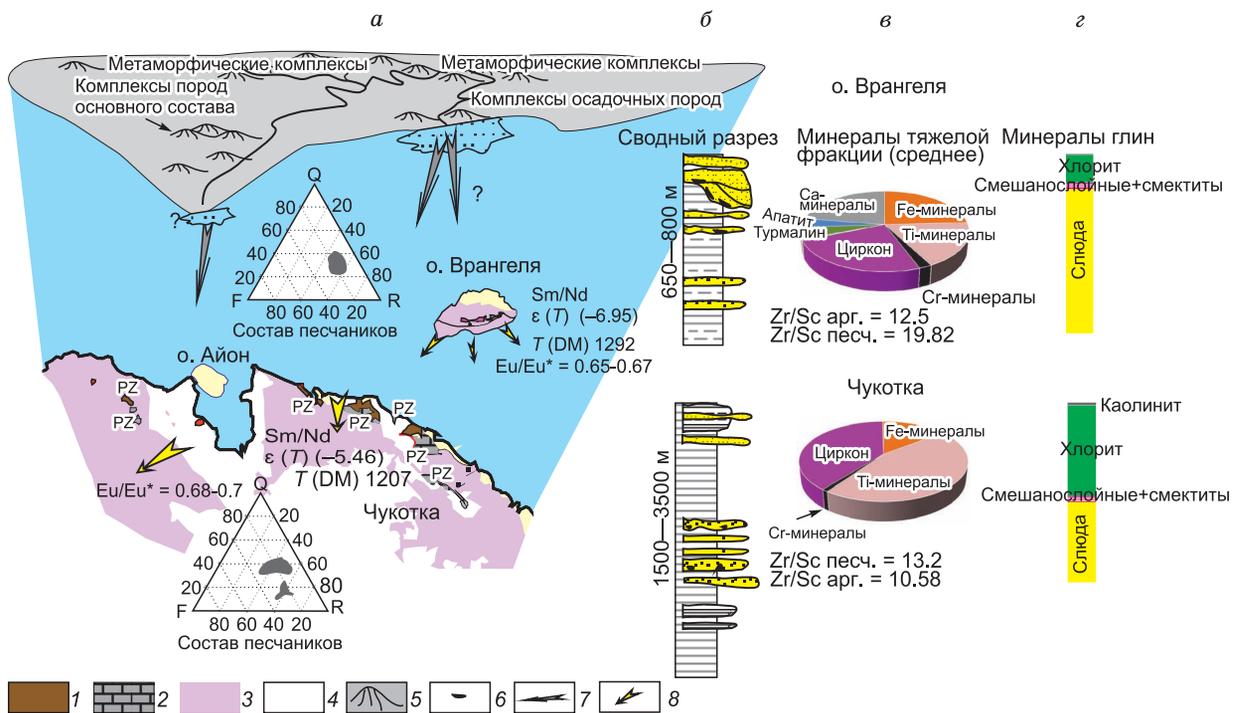


Рис. 11. Схема размещения разнофациальных отложений верхнего триаса в современной структуре арктической окраины Чукотки с указанием наиболее значимых геохимических соотношений, минерального состава песчаников QFR (треугольные диаграммы на рисунке), сводных разрезов (б) состав минералов тяжелой фракции (в), состава глин в аргиллитах (г) Чукотки и о. Врангеля.

а: 1—4 — отложения: 1 — девона, 2 — девона—карбона, 3 — триаса, 4 — юры—мела; 5 — предполагаемая суша, б — интракласты аргиллитов, 7 — региональное предполагаемое направление сноса обломочного материала, 8 — направление сноса обломочного материала по фациальной изменчивости и замерам в разрезах.

изошло в мелководной зоне шельфа, так как условия жизни монотисов связаны с фильтрацией взвеси на мелководье при постоянном взмучивании осадка [Полуботко, Репин, 2017].

В разрезах Чукотки так же, как и на о. Врангеля, в основании песчаных прослоев с эрозивной подошвой встречаются, но более мелкие и лучше окатанные обломки аргиллитов, с формой обломков без неровных краев (см. рис. б), что указывает на их длительное движение в песчаном потоке. Аргиллиты Чукотки практически не содержат алевритовых зерен, их количество в шлифах не превышает 1—3 %, редко 5 %. Следовательно, в периоды фоновой седиментации в бассейне Чукотки осаждались глины без примеси более крупнозернистого материала из-за большей удаленности области осадконакопления от области размыва, чем для отложений о. Врангеля.

В образцах Чукотки отмечается низкое содержание и малокомпонентный состав минералов тяжелой фракции, которые представлены главным образом цирконом, Тi-минералами и хромшпинелидами. Сrostки минералов и неустойчивые Са-минералы в составе тяжелой фракции не встречены, только в одном образце в Чаунском субтеррейне диагностируется кальцит. В тяжелой фракции образцов Чукотки отмечается более высокое содержание Тi-минералов, чем в образцах о. Врангеля (см. рис. 4, г), на диаграмме Lg—Lv—Lm (см. рис. 4, б) образцы Чукотки характеризуются более высоким содержанием обломков основных вулканитов, чем образцы о. Врангеля. Это можно объяснить только дополнительным источником, представленным породами основного состава.

Возможно, таким источником служили диабазовые sill [Гельман, 1963], цирконы из которых имеют возраст 252 млн лет [Ledneva et al., 2014]. Нельзя также исключить и источник сноса, сложенный амфиболитами неопротерозойского возраста, выходящими ныне на поверхность о. Врангеля [Соколов и др., 2019]. В пользу такого источника свидетельствуют единичные зерна амфибола в составе тяжелой фракции образцов Чукотки (см. табл. 2).

На размыв метаморфических пород косвенно указывает высокое содержание слюды и хлорита в составе образцов Чукотки и о. Врангеля, при этом в аргиллитах о. Врангеля доминирует слюда (см. рис. б). Исходя из того, что и врангелевские, и чукотские образцы отвечают начальной зеленосланцевой стадии постседиментационных преобразований или не достигают ее, можно считать, что различие составов

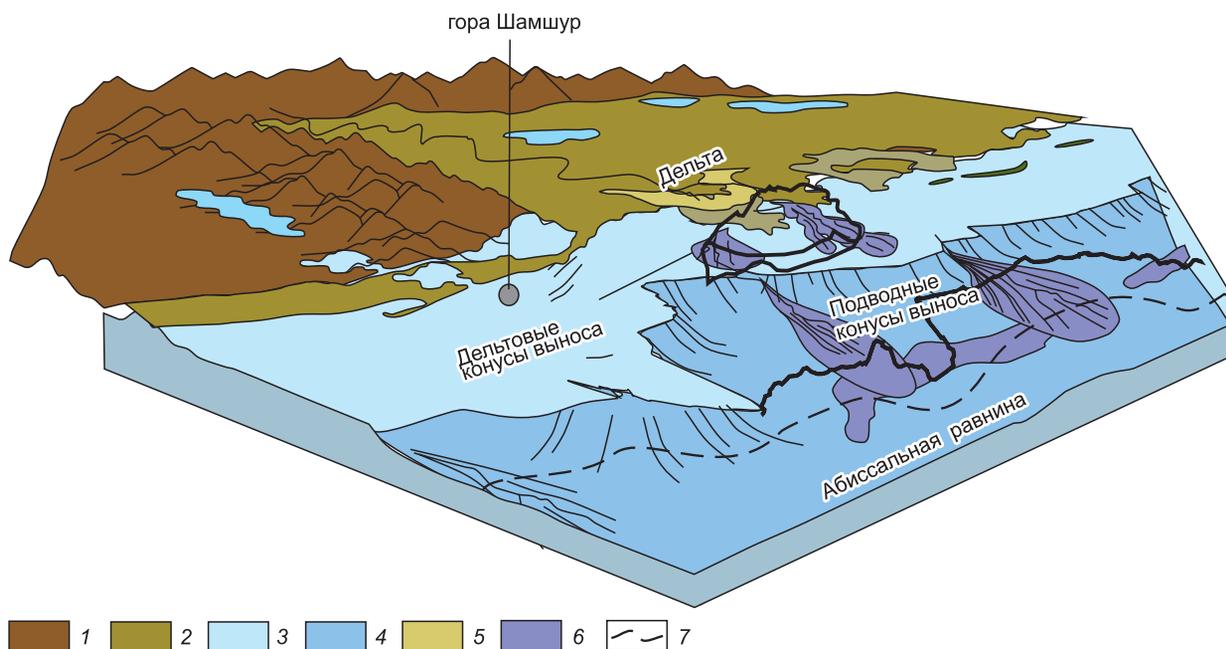


Рис. 12. Схема осадконакопления для поздне триасового времени Чукотки и о. Врангеля (контуры нанесены на схему).

Обстановки: 1 — континентальные, горная страна; 2 — континентальные прибрежные; 3 — шельфовые; 4 — глубоководные склоновые и подножия; 5 — дельтовые; 6 — турбидитовые дельтовых и глубоководных конусов выноса; 7 — граница внешнего шельфа для норийского времени.

обусловлено главным образом составом петрофонда, а отсутствие минералов, характерных для высоких степеней метаморфизма, подтверждает невысокий уровень метаморфизма в породах источника.

По геохимическим параметрам составы песчаников и аргиллитов Чукотки и о. Врангеля очень похожи, что указывает на общий источник как для фоновых отложений, так и для песчаников (см. рис. 7). Предполагается размыв пород гранодиоритового ряда, по геохимическим параметрам аналогичных составу верхней континентальной коры (UCC). Влияние верхней коры сильнее сказывается в образцах о. Врангеля, что подтверждается диаграммой ϵ_{Nd} —Th/Sc, на которой образцы о. Врангеля располагаются ниже, чем образцы Чукотки (см. рис. 9). Гранитоидный источник сноса сопоставляется с размывом древнего метаморфического комплекса с популяциями древних цирконов 750—2650 млн лет и подтверждается доминированием слюд в составе аргиллитов о. Врангеля и более кварцевым составом лититовых арениитов.

Локализация распространения полей лититовых арениитов в песчаниках о. Врангеля и Чукотки достаточно условна (см. рис. 5, а). Площадное распространение их, скорее всего, связано с развитием дельтовых систем, смена положения русел которых приводит к размыву поочередно гранитоидных, метаморфических или вулканических комплексов, и, соответственно, большее или меньшее количество кварцевой составляющей в песчаниках. Например, в песчаниках о. Врангеля с эрозионным нижним контактом всегда отмечается повышенное содержание обломков метаосадочных пород.

Проведенное исследование подтверждает существование крупного триасового бассейна с мелководными, прodelьтовыми отложениями на о. Врангеля и более глубоководными на территории Чукотки. Высокий процент железистых минералов в тяжелой фракции Чукотки и о. Врангеля свидетельствует о длительном периоде выветривания области питающей провинции, и косвенно подтверждается наличием каолинита в аргиллитах. В связи с отсутствием каолинита в каждом образце (см. рис. 5, а) предполагаем выветривание палеосуши в локальных участках.

Хорошо развитая дельтовая система и большой объем обломочного материала, поступающего в бассейн, участки с корой выветривания, разный состав породных комплексов питающей провинции — все эти данные указывают на крупный континентальный блок, сложенный метаморфическими, гранитоидными и метавулканическими породами. Континентальный блок располагался к северу от о. Врангеля (в современных координатах), о чем свидетельствует смена фаций с юга на север от более глубоководных (Чукотка) к мелководным (о. Врангеля) и вероятного существования еще более мелководных прибрежно-морских отложений в южной части поднятия Менделеева (гора Шамшур) [Tuchkova et al., 2020].

О существовании блока древней консолидированной коры в Центральной Арктике впервые высказал предположение Н.С. Шатский, выделив его под названием «платформа Гиперборея» [Шатский, 1963]. В настоящее время в литературе этот блок называют Арктидой или Крокерленд (Crockerland) [Зоненшайн, Натапов, 1987; Embry, 1993, 2009; Vernikovskiy, Vernikovskaya, 2001; Лобковский и др., 2011; Верниковский и др., 2013; Лаверов и др., 2013; Anfinson et al., 2016]. Считается, что Арктида (Крокерленд, Гиперборея) существовала до конца перми (250 млн лет), когда закончилось объединение арктических массивов в единую структуру [Верниковский и др., 2013]. Начиная с конца перми континентальный блок Арктида существовал в составе Пангеи до раздробления на отдельные фрагменты в юрско-меловое время.

Начало раскола континентального блока произошло в ранней юре и продолжалось до апта, что привело к отрыву Чукотско-Аляскинской системы блоков Арктиды от Северо-Американского континента, закрытию Южно-Анжуйского-Ангаючам палеоокеана и образованию Канадского бассейна. В результате древний континент был раздроблен на отдельные фрагменты, которые в настоящее время обнаружены в разных частях Арктики — на Новосибирских островах, поднятиях Альфа—Менделеева, в Канадском арктическом архипелаге и на о. Врангеля и Чукотке [Хаин и др., 2009; Лобковский и др., 2011; Лаверов и др., 2013; Верниковский и др., 2013].

Раскол Арктиды-Крокерленда в ранней юре предполагает, что до этого события на разных его окраинах в триасовое время существовали синхронные этапы осадконакопления. В верхнетриасовом разрезе Чукотки установлены два этапа усиленного сноса обломочного материала, которые в разрезах верхнего карния и нория регистрируются повышением количества песчаников и мощностей их прослоев [Морозов, 2001; Tschkova et al., 2009]. Песчаники также преобладают в верхней части разреза о. Врангеля. В бассейне Свердруп фиксируется увеличение песчаного материала в середине карнийского века и в норийское время [Embry, Beauchamp, 2019]. Разрез регрессивного типа в позднем триасе этой части Арктики отвечает заключительной стадии существования пассивной континентальной окраины Чукотского микроконтинента и коррелирует с одновозрастными отложениями бассейна Свердруп.

Средневерхнетриасовые разрезы Северной Аляски представлены формациями Шублик (Shublik, T₂₋₃), Саг Ривер (Sag River, T₃) и Карен Крик (Karen Creek, T₃) [Moore et al., 1994; Bird, 1999]. Отложения маломощные, в общей сложности не превышают 300—400 м, и сформировались в условиях мелководного пологого шельфа с небольшим уклоном на юг. Верхняя часть разреза формаций Шублик и вышележащих песчаников Саг Ривер коррелируются с этапами повышения песчаного материала в других частях Восточной Арктики.

Проведенный краткий анализ показывает, что в обрамлении древнего континентального блока в поздне триасовое время отмечаются почти синхронные этапы повышения песчаного материала. Это свидетельствует о периодических воздыманиях в области размыва, которые приводили к усиленной эрозии источников сноса в середине—конце карнийского века и в норийское время. При этом отмечается уменьшение размера зерен песчаников к концу позднего триаса, что объясняется всеобщей пенепленизацией в области питающей провинции и снижением влияния тектонического фактора на осадконакопление.

Мелководные отложения о. Врангеля и более глубоководные отложения Чукотки в поздне триасовое время формировались в едином осадочном бассейне пассивной континентальной окраины, существование которой завершилось этапом деформаций к началу юрского периода.

Это доколлизийное событие установлено на Чукотке на границе триаса и юры и связывается со сбросообразованием при рифтинге, предшествовавшем спредингу в Канадской котловине [Тучкова и др., 2011; Голионко и др., 2018]. О синхронном событии на о. Врангеля свидетельствуют завершение осадконакопления в позднем триасе и отсутствие юрско-меловых отложений [Остров..., 2003; Соколов и др., 2017]. Наиболее интенсивные деформации в регионе происходили на коллизийном этапе, когда формировались складчато-надвиговые структуры и гранитные батолиты. Коллизийные деформации, завершившиеся к началу апта, окончательно сформировали структуры Новосибирско-Чукотской складчатой области. Постколлизийное растяжение в апт-альбское время привело к сепарации ранее близко расположенных участков единого осадочного бассейна и к обособлению триасовых породных комплексов.

ВЫВОДЫ

1. Отложения о. Врангеля формировались в условиях мелководного шельфа и связаны с дельтовыми зонами или с формированием осадков в результате переплетения и перекрытия песчаных лопастей этих дельт. Отложения Чукотки накапливались в более глубоководных зонах — у подножия склона в карнийское время и в продельтовой зоне мелководного шельфа в норийское.

2. В разрезе отложений верхнего триаса Чукотки и о. Врангеля установлены два этапа увеличения песчаных прослоев — в позднекарнийское и в норийское время. В целом наблюдается повышение роли песчаной составляющей в верхней части триасового разреза, что свидетельствует о поднятиях и усиленной эрозии в области питающей провинции. К концу триасовой эпохи в области сноса снизилось

влияние тектонического фактора при повсеместной пенеппенизации рельефа и уменьшении средней размерности песчаных зерен в песчаниках.

3. Питающая провинция, поставлявшая обломочный материал в верхнетриасовый осадочный бассейн, была расположена севернее о. Врангеля (в современных координатах) и сложена метаморфическими, гранитоидными, метаосадочными и метавулканическими породами, в том числе основного состава, влияние последних сильнее в породах Чукотки.

4. Преобладающим источником сноса для верхнетриасовых отложений Чукотки и о. Врангеля служили породы, аналогичные по геохимическим параметрам породам верхней континентальной коры. Возраст пород источников сноса, установленный на основании датирования обломочных цирконов, оценивается главным образом как неопротерозойский и кембрийский (434—600 и 907—1120 млн лет), цирконы более древние (1800 и 2500—2640 млн лет) менее многочисленны.

5. Корреляция верхнетриасовых отложений Чукотки, о. Врангеля, Северной Аляски и Арктической Канады свидетельствует о синхронных этапах седиментации в едином осадочном бассейне и общей питающей провинции.

Авторы признательны сотрудникам и директору заповедника о. Врангеля А.Р. Груздеву за возможность проведения полевых работ в 2006 и 2014 гг. и большую помощь в экспедиции, и особенно И.П. Олейникову, сопровождавшему и охранявшему полевой отряд. Авторы благодарят ОАО НК «Роснефть» за финансирование полевых работ 2014 г., а также компанию TGS-NOPEC за помощь в проведении аналитических исследований. Особую благодарность хотелось бы выразить В.А. Верниковскому и двум анонимным рецензентам за замечания и критику, благодаря чему текст статьи существенно улучшился.

Выполнение данной работы осуществлялось при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-17-00197. Базовое финансирование осуществляется за счет субсидии № 0135-2019-0078.

ЛИТЕРАТУРА

Баранов М.А. Покровная тектоника Мырговаамской «впадины» (северо-запад Центральной Чукотки) // Тихоокеанская геология, 1995, № 3, с. 17—22.

Бондаренко Г.Е. Тектоника и геодинамическая эволюция мезозойского северного обрамления Тихого океана. М., Изд-во Моск. ун-та, 2004, 46 с.

Бурлин Ю.К., Шипелькевич Ю.В. Основные черты тектонического развития осадочных бассейнов в западной части шельфа Чукотского моря и перспективы их нефтегазоносности // Геотектоника, 2006, № 2, с. 65—82.

Бычков Ю.М. Сравнительная характеристика триаса Северной Чукотки и Северного Юкона // Геология складчатого обрамления Американо-Тихоокеанского бассейна. СПб, НПО «Севморгеология», 1991, с. 84—93.

Бычков Ю.М. Триас северо-востока России. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1994, 59 с.

Ватрушкина Е.В., Костылева В.В. Развитие Чукотской окраины в рэтское время // Проблемы тектоники континентов и океанов (материалы тектонического совещания). М., ГЕОС, 2019, т. 1, с. 102—105.

Ватрушкина Е.В. Верхнеюрско-нижнемеловые осадочные отложения Западной Чукотки (Труды Геологического института РАН, вып. 625). М., ГЕОС, 2021, 170 с.

Вержицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Лобковский Л.И. Новые данные о структуре и тектонической эволюции острова Врангеля (российская Восточная Арктика) // ДАН, 2014, т. 456, № 6, с. 686—690.

Вержицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И. Современная структура и этапы тектонической эволюции острова Врангеля (российская Восточная Арктика) // Геотектоника, 2015, № 3, с. 3—32.

Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1083—1107.

Гельман М.Л. Триасовая диабазовая формация Аннойской зоны (Чукотка) // Геология и геофизика, 1963 (2), с. 127—134.

Голионко Б.Г., Ватрушкина Е.В., Вержицкий В.Е., Дегтярев К.Е. Структурная эволюция мезозойских комплексов Западной Чукотки // ДАН, 2017, т. 475, № 1, с. 53—56.

Голионко Б.Г., Ватрушкина Е.В., Вержицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И. Деформации и этапы структурной эволюции мезозойских комплексов Западной Чукотки // Геотектоника, 2018, № 1, с. 63—78.

Городинский М.Е., Паракецов К.В. Стратиграфия и тектоника мезозойских отложений Раучуанского прогиба // Материалы и по геологии полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 14. Магадан, 1960, с. 13—26.

Громов Л.В. Остров Врангеля, его геологическое строение и полезные ископаемые. Л., ААНИИ, 1939, 348 с.

- Громов Л.В.** Геологическое строение и полезные ископаемые о. Врангеля. М., Л., Гостоптехиздат, 1947, 184 с.
- Зоненшайн Л.П., Натапов Л.М.** Тектоническая история Арктики // Труды ГИН АН СССР, вып. 425. М., Наука, 1987, с. 31—57.
- Каменева Г.И.** К вопросу о тектоническом положении острова Врангеля и его структурных связях с Аляской в палеозое // Тектоника Арктики. Складчатый фундамент шельфовых седиментационных бассейнов. Л., НИИГА, 1977, с. 122—131.
- Катков С.М., Миллер Э.Л., Торо Дж.** Структурные парагенезы и возраст деформаций западного сектора Аноийско-Чукотской складчатой системы (северо-восток Азии) // Геотектоника, 2010, № 5, с. 61—80.
- Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шипилов Э.В.** Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника, 2013, № 1, с. 3—35.
- Лобковский Л.И., Вержбицкий В.Е., Кононов М.В., Шрейдер А.А., Гарагаш И.А., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Котелкин В.Д., Верниковский В.А.** Геодинамическая модель эволюции Арктического региона в позднем мезозое—кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России // Арктика. Экология и экономика, 2011, № 1, с. 104—115.
- Лучицкая М.В., Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Сергеев С.А., О'Салливан П.Б., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А.** Крайне-континентальные и внутриплитные позднепротерозойские граниты и риолиты острова Врангеля // Геотектоника, 2017, № 1, с. 19—43, doi: 10.1134/S0016852117010034.
- Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А.** Этапы структурной эволюции осадочного чехла о. Врангеля, Восточная Арктика // Геотектоника, 2018, № 5, с. 22—38.
- Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Вержбицкий В.Е.** Эдиакарско-среднекембрийский основной вулканизм острова Врангеля: возраст и геодинамические обстановки формирования // Вестник СПб. ун-та. Науки о Земле, 2019, т. 64, № 2, с. 267—280, <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.206>.
- Морозов О.Л.** Геологическое строение и тектоническая эволюция Центральной Чукотки. (Тр. ГИН РАН, вып. 523), М., ГЕОС, 2001, 210 с.
- Натальин Б.А.** Раннемезозойские эвгеосинклинальные системы северной части Тихоокеанского обрамления. М., Наука, 1984, 136 с.
- Остров Врангеля:** геологическое строение, минерагения, геоэкология / Под ред. М.И. Косько, В.И. Ушакова. СПб, ВНИИОкеанология, 2003, 137 с.
- Паракецов К.В., Паракецова Г.И.** Стратиграфия и фауна верхнеюрских и нижнемеловых отложений северо-востока СССР. М., Недра, 1989, 298 с.
- Петгиджон Ф.Дж.** Осадочные породы. Пер. с англ., М., Недра, 1981, 751 с.
- Полуботко И.В., Репин Ю.С.** Сообщества двусторчатых моллюсков верхнего триаса северо-востока Азии // Проблемы палеоэкологии и исторической геоэкологии. (Труды Всероссийской научной конференции памяти проф. В.Г. Очева). М., Саратов, 2017, с. 120—127.
- Рейнек Г.Э., Сингх И.Б.** Обстановки терригенного осадконакопления. М., Недра, 1981, 439 с.
- Садовский А.И.** Новые данные по стратиграфии и тектонике мезозойских отложений нижнего течения р. Колымы // Геология и геофизика, 1962 (8), с. 114—117.
- Соколов С.Д.** Очерк тектоники Северо-Востока Азии // Геотектоника, 2010, № 6, с. 60—78.
- Соколов С.Д., Бондаренко Т.Е., Морозов О.Л., Ганелин А.В., Подгорный И.И.** Покровная тектоника Южно-Аноийской сутуры (Западная Чукотка) // ДАН, 2001, т. 376, № 1, с. 80—84.
- Соколов С.Д., Тучкова М.И., Моисеев А.В., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Гущина М.Ю.** Тектоническая зональность острова Врангеля (Арктика) // Геотектоника, 2017, № 1, с. 3—18.
- Соколов С.Д., Силантьев С.А., Моисеев А.В., Тучкова М.И., Вержбицкий В.Е.** Амфиболиты метаморфического фундамента о. Врангеля: возраст, природа протолита и условия метаморфизма // Геохимия, 2019, т. 64, № 12, с. 1222—1246.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.** Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, 384 с.
- Тибилев И.В., Бегунов С.Ф., Ларионов Я.С., Пьянков А.Я.** К стратиграфии триаса Чукотской структурно-фациальной области // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1982, вып. 26, с. 15—22.
- Тибилев И.В., Черепанова И.Ю.** Геология севера Чукотки — современное состояние и проблемы. М., ГЕОС, 2001, 94 с.
- Тильман С.М.** Сравнительная тектоника мезозойского севера Тихоокеанского кольца. Новосибирск, Наука, 1973, 325 с.
- Тильман С.М., Егоров Д.Ф.** Новые данные по стратиграфии и тектонике правобережья р. Колы-

мы в ее нижнем течении // Докл. АН СССР, 1957, т. 113, № 2, с. 421—424.

Тильман С.М., Бялобжеский С.Г., Чехов А.Д. Геологическое строение острова Врангеля // Геология СССР. Т. XXVI. Острова Советской Арктики. М., Недра, 1970, с. 377—404.

Тильман С.М., Бялобжеский С.Г., Чехов А.Д. Геологическое строение острова Врангеля // Труды СВКНИИ, 1964, вып. 11, с. 53—97.

Тучкова М.И., Катков С.М., Галускина Е.О., Симанович И.М. Постседиментационные преобразования терригенных пород триаса Западной Чукотки как показатель условий складчатости // Геотектоника, 2011, № 3, с. 64—78.

Тучкова М.И., Морозов О.Л., Катков С.М. Нижнесреднетриасовые отложения р. Энмынвеем (Западная Чукотка) // Литология и полезные ископаемые, 2007, № 5, с. 1—17.

Хаин В.Е., Филатов Н.И., Полякова И.Д. Тектоника, геодинамика и перспективы нефтегазоносности восточно-арктических морей и их континентального обрамления (Труды Геологического института РАН, вып. 601). М., Наука, 2009, 227 с.

Шатский Н.С. О тектонике Арктики // Геология и полезные ископаемые Севера СССР. Л., Главсевморпуть, 1963, с. 149—165.

Anfinson O.A., Embry A.F., Stockli D.F. Geochronologic constraints on the Permian—Triassic northern source region of the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Islands // Tectonophysics, 2016, v. 691, p. 206—219.

Bird K.J. Geographic and geologic setting, chapter GG // The oil and gas resource potential of the 1002 area, Arctic National Wildlife Refuge, Alaska, by ANWR assessment team. USGS Open File Rep., 1999, p. 98—34.

Bradley D., Haeussler P., O'Sullivan P., Friedman R., Till A., Bradley D., Trop J. Detrital zircon geochronology of Cretaceous and Paleogene strata across the south-central Alaskan convergent margin / Eds. P.J. Haeussler, J.P. Galloway. Studies by the U.S. Geological Survey in Alaska, 2007. USGS Prof. Pap. 1760-F, 2009, 36 p.

Embry A.F. A tectonic origin for third-order depositional sequences in extensional basins — implications for basin modelling / Ed. T. Cross // Quantitative dynamic stratigraphy. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990, p. 491—502.

Embry A.F. Crockerland — the northern source area for the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago / Eds. T.O. Vorren, E. Bergsager, Ø. Dahl-Stamnes, E. Holter, B. Johansen, E. Lie, T.B. Lund // Arctic geology and petroleum potential. T. Norw. Pet. Soc., Spec. Publ., 1993, v. 2, p. 205—216.

Embry A.F. Crockerland — the source area for the Triassic to Middle Jurassic strata of northern Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Islands // Bull. Can. Pet. Geol., 2009, v. 57 (2), p. 129—140.

Embry A., Beauchamp B. Sverdrup Basin // The sedimentary basins of the United States and Canada, 2019, Ch. 14, p. 559—592, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63895-3.00014-0>.

Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. London, 1987, v. 144, p. 531—542.

Garcia D., Fontelles M., Moutte J. Sedimentary fractionations between Al, Ti, and Zr and the genesis of strongly peraluminous granites // J. Geol., 1994, v. 102, p. 411—422.

Gehrels G. Analysis tools, 2009, <https://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home>.

Grantz A., May S.D., Hart P.E. Geology of the continental margin of Alaska. GSA, 1990, p. 257—288.

Gu X.X., Liu J.M., Zheng M.H., Tang J.X., Qi L. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan South China: geochemical evidence // J. Sediment. Res., 2002, v. 72, p. 393—407.

Harrison J.C., St-Onge M.R., Petrov O., Strelnikov S., Lopatin B., Wilson F., Tella S., Paul D., Lynds T., Shokalsky S., Hults C., Bergman S., Jepsen H.F., Solli A. Geological map of the Arctic; Geological Survey of Canada, Open File 5816, scale 1: 5,000,000, 2008.

Hults C.P., Wilson F.H., Donelick R.A., O'Sullivan P.B. Two flysch belts having distinctly different provenance suggest no stratigraphic link between the Wrangellia composite terrane and the paleo-Alaskan margin // Lithosphere, 2013, v. 5 (6), p. 575—594.

Kos'ko M.K., Cecile M.P., Harrison J.C., Ganelin V.G., Khandoshko N.V., Lopatin B.G. Geology of Wrangel Island, between Chukchi and Siberian Seas, Northeastern Russia // Geol. Surv. Can. Bull., 1993, v. 461, 102 p.

Kuzmichev A.B. Where does the South Anyui suture go in the New Siberian islands and Laptev Sea?: Implications for the Amerasia basin origin // Tectonophysics, 2009, v. 463, p. 86—108.

Ledneva G.V., Pease V.L., Sokolov S.D. Permo-Triassic hypabyssal mafic intrusions and associated tholeiitic basalts of the Kolyuchinskaya Bay, Chukotka (NE Russia): Links to the Siberian LIP // J. Asian Earth Sci., 2011, v. 40, p. 737—745, doi: 10.1016/j.jseaes.2010.11.007.

Ledneva G.V., Bazylev B.A., Layer P.W., Ishiwatari A., Sokolov S.D., Kononkova N.N., Tikhomirov P.L., Novikova M.S. Intra-plate gabbroic rocks of Permo-Triassic to Early-Middle Triassic dike-and-sill province of Chukotka (Russia) // ICAM VI Proc., 2014, p. 115—156.

Loeblich A.R., Tappan H. Foraminiferal Genera and Their Classification. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987, 970 p.

Luchitskaya M.V., Moiseev A.V., Sokolov S.D., Tuchkova M.I., Sergeev S.A., O'Sullivan P., Verzhbitsky V.E., Malyshev N.A. Neoproterozoic granitoids and rhyolites of Wrangel Island: Geochemical affinity and geodynamic setting in the Eastern Arctic region // *Lithos*, 2017, v. 292—293, p. 15—33, doi: 10.1016/j.lithos.2017.08.022.

Ludwig K.R. User's manual for Isoplot/Ex, Version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ., v. 4, 2003, 71 p.

Midwinter D., Hadlari T., Davis W.J., Dewing K., Arnott R.W.C. Dual provenance signatures of the Triassic northern Laurentian margin from detrital-zircon U-Pb and Hf-isotope analysis of Triassic–Jurassic strata in the Sverdrup Basin // *Lithosphere*, 2016, v. 8 (6), p. 668—683, <https://doi.org/10.1130/L517.1>.

Miller E.L., Toro J., Gehrels G., Amato J.M., Prokopiev A., Tuchkova M.I., Akinin V.V., Dumitru T.A., Moore T.E., Cecile M.P. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology // *Tectonics*, 2006, v. 25, TC3013, <https://doi.org/10.1029/2005TC001830>.

Miller, E.L., Gehrels G.E., Pease V., Sokolov S. Stratigraphy and U-Pb detrital zircon geochronology of Wrangel Island, Russia: Implications for Arctic paleogeography // *AAPG Bull.*, 2010, v. 94 (5), p. 665—692.

Miller E.L., Soloviev A.V., Prokopiev A.V., Toro J., Harris D., Kuzmichev A.B., Gehrels G. Triassic river systems and the paleo-Pacific margin of northwestern Pangea // *Gondwana Res.*, 2013, v. 23, p. 1631—1645.

Miller E.L., Akinin V.V., Dumitru T.A., Gottlieb E., Grove M., Meisling K., Seward G. Deformational history and thermochronology of Wrangel Island, East Siberian Shelf and coastal Chukotka, Arctic Russia // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 2018, v. 460 (1), 207, <http://dx.doi.org/10.1144/SP460.7>.

Moore T.E., Wallace W.K., Bird K.J., Karl S.M., Mull C.G., Dillon J.T. Geology of northern Alaska // *The geology of Alaska*. Boulder, CO, GSA, 1994, v. G-1, p. 49—140.

Moore T.E., O'Sullivan P.B., Potter C.J., Donelick R.A. Provenance and detrital zircon geochronologic evolution of lower Brookian foreland basin deposits of the western Brooks Range, Alaska, and implications for early Brookian tectonism // *Geosphere*, 2015, v. 11 (1), p. 93—122.

Omma J.E., Pease V., Scott R.A. U-Pb SIMS zircon geochronology of Triassic and Jurassic sandstones on northwestern Axel Heiberg Island, northern Sverdrup Basin, Arctic Canada // *Geol. Soc. Mem.*, 2011, v. 35, p. 559—566.

Sawyer E.W. The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico Metasedimentary Belt, Superior Province, Canada // *Chem. Geol.*, 1986, v. 55, p. 77—95.

Sømme T.O., Doré A.G., Lundin E.R., Tørudbakken B.O. Triassic–Paleogene paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill // *AAPG Bull.*, 2018, v. 102 (12), 2481—2517, doi: 10.1306/05111817254.

Steiger R.H., Jäger E. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1977, v. 36, p. 369—371.

Taylor S.R., McLennan S.M. The geochemical evolution of continental crust // *Rev. Geophys.*, 1995, v. 33, p. 241—265.

Tuchkova M.I., Sokolov S.D., Kravchenko-Berezhnoy I.R. Provenance analysis and tectonic setting of the Triassic clastic deposits in Western Chukotka, Northeast Russia // *Stephan Mueller Spec. Publ.*, 2009, Ser. 4, p. 177—200.

Tuchkova M.I., Sokolov S.D., Khudoley A.K., Hayasaka Y., Moiseev A.V. Permian and Triassic deposits of Siberian and Chukotka passive margins: sedimentation setting and provenance // *ICAM VI Proc. St. Petersburg, VSEGEL*, 2014, p. 61—96.

Tuchkova M.I., Shokalsky S.P., Petrov O.V., Sokolov S.D., Sergeev S.A., Moiseev A.V. Triassic deposits of Chukotka, Wrangel Island and Mendeleev Rise, Arctic Sea: sedimentology and geodynamic implications // *GFF*, 2020, doi: 10.1080/11035897.2020.1724668.

Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A.E. Central Taimyr accretionary belt (Arctic Asia): Meso-Neoproterozoic tectonic evolution and Rodinia breakup // *Precambrian Res.*, 2001, v. 110, p. 127—141.