

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.04.066>

УДК 550.4 (477)

**Г.В. Артеменко¹, В.И. Ганоцкий²,
Е.Е. Гречановская¹, Л.И. Кануникова¹, И.А. Швайка¹**

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины, Киев

² НТУ «Днепровская политехника»

E-mail: regulgeo@gmail.com

Геохимические особенности и генезис осадочных пород серии тринити (район острова Лахилл, Западная Антарктида)

Представлено академиком НАН Украины А.Н. Пономаренко

Осадочные породы серии тринити прослеживаются на Антарктическом полуострове от северной части на юг на протяжении около 500 км. Определение области их сноса и условий формирования имеет большое значение для реконструкции границ суперконтинента Гондвана. Осадочные породы серии тринити достаточно полно изучены в северной части Антарктического полуострова и значительно слабее — в южной части ареала их распространения. Нами изучена толща турбидитов в восточной части о. Лахилл. Они представлены переслаиванием слоев кварцевых граувакков мощностью от первых сантиметров до 30 см и аргиллитов мощностью от первых сантиметров до 15 см. В кварцевых граувакках обломки преимущественно монокристаллические, реже обломки пород разнообразной формы — угловатые, остроугольные, резко неправильной формы. Размер обломков варьирует от 0,03 до 0,6 мм. Аргиллиты состоят из вмещающей массы и включенных в нее оолитоподобных образований, которые сложены криптозернистыми минералами. Исследование минерального состава аргиллита методом рентгенофазового анализа показало, что преобладающим минералом в нем является кварц с подчиненным количеством биотита и примесью альбита и некоторых рудных минералов. Установлена очень низкая степень изменения первичных осадков серии тринити в южной части ареала их распространения — в условиях позднего катагенеза—раннего метакатагенеза по шкале Н.В. Логвиненко и Л.В. Орловой. В отличие от этого района, осадочные породы серии тринити в северной части Антарктического полуострова метаморфизованы в условиях пренит-пумпелеит-, пумпелеит-актинолит- и зеленосланцевой фаций. Установлено, что в области сноса осадочных пород района о. Лахилл преобладали кислые и средние магматические породы натриевого состава корового генезиса и в подчиненном количестве были основные породы. Согласно полученным данным, осадочные породы серии тринити исследуемого района образовались в верхней части континентального склона.

Ключевые слова: Антарктический полуостров, Гондвана, серия тринити, турбидиты, кварцевые граувакки, аргиллиты, оолитоподобные структуры, петрофация, область сноса осадков, редкоземельные элементы.

Цитування: Артеменко Г.В., Ганоцкий В.И., Гречановская Е.Е., Кануникова Л.И., Швайка И.А. Геохимические особенности и генезис осадочных пород серии тринити (район острова Лахилл, Западная Антарктида). *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2020. № 4. С. 66—76. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.04.066>

На блоке Антарктического полуострова метаосадочные породы серии тринити прослеживаются от его северной части на юг на протяжении около 500 км [1, 2] (рис. 1, *a*). Авторы [3] считают, что эти осадки расположены в пределах Восточного домена Антарктического полуострова, который был континентальной окраиной Гондваны. На п-ве Пенинсула породы серии тринити метаморфизованы в условиях прениит-пумпеллиит-, пумпеллиит-актинолит- и зеленосланцевой фациях [4].

По U-Pb датировкам (метод LA-ICP-MS) детритового циркона из крупнозернистых песчаников о. Лахилл [5] нижняя граница их образования – 246 млн лет (триас), а верхняя определяется интрузивным контактом с диоритов мелового возраста. Геологическая обстановка формирования осадков серии тринити остается дискуссионной. Одни исследователи считают, что они являются турбидитами и пелагическими осадками, которые накапливались в передовом прогибе позднепалеозойского гондвано/австралийского орогена и были затем включены в его аккреционную призму [6], другие – что они образовались в верхней части континентального склона Гондваны [7] и интерпретировали их как отложения турбидитов или селевых потоков вдоль активной континентальной окраины [6]. Авторы работы [8], изучавшие метаосадки серии тринити в северной части Антарктического полуострова, связывали их образование с быстрым подъемом вулcano-плутонической континентальной дуги вдоль активной континентальной окраины Гондваны, расположенной, вероятно, в районе южной Патагонии – Антарктического полуострова. Осадочные породы южной части ареала распространенности серии тринити – район бух. Бискочеа и о. Лахилл (см. рис. 1, *б*), остаются значительно менее изученными. Здесь и проведены наши исследования.

Методы исследований. Силикатные анализы пород выполнялись в химической лаборатории ИГМР НАН Украины. Содержания редких и рассеянных элементов в породах определяли методом ICP-MS в ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия. Ошибки определения

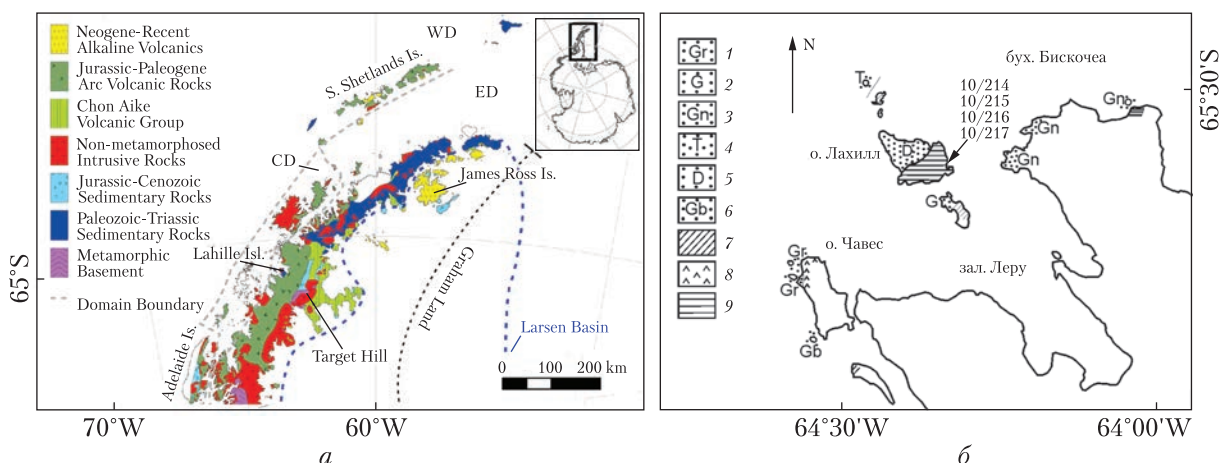


Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Антарктического полуострова по [2], с изменениями (*a*: WD – западный домен; CD – центральный домен; ED – восточный домен) и района работ по [1], с изменениями, с точками отбора проб (*б*: 1 – гранофиры; 2 – граниты; 3 – гранодиориты; 4 – тоналиты; 5 – диориты; 6 – габброиды; 7 – пирокластические породы; 8 – андезиты; 9 – осадки серии тринити)

концентраций составляли от 3 до 5 мас. % для большинства элементов. Рентгеновский дифракционный анализ образцов проведен на дифрактометре ДРОН-2 с использованием медного излучения ($\text{Cu}_{K\alpha} = 1,54178 \text{ \AA}$). Съемка образцов проведена в интервале углов $4\text{--}65^\circ 2\theta$ с шагом сканирования 0,1 град/мин. Для диагностики минералов использована картотека эталонных образцов базы данных PDF-2 Международного центра дифракционных данных (ICDD) 2003 г. с использованием программы PCPDFWIN. Химический состав минералов изучался на рентгеновском микроанализаторе JXA-733 (Jeol, Япония) с использованием волнового и энергодисперсионного спектрометров в лаборатории ИГМР НАН Украины.

Результаты исследований. Изучены породы турбидитов, которые обнажаются в юго-восточной части о. Лахилл ($S 65^\circ 33,416'$; $W 64^\circ 23,997'$) (рис. 2, а). Здесь наблюдается чередование слоев серых кварцевых граувакк мощностью от первых сантиметров до 30 см и черных аргиллитов мощностью от первых сантиметров до 15 см. Мощность этих слоев весьма изменчива по простиранию. В слоях сланцев наблюдаются складки волочения (см. рис. 2, б).

Краткое петрографическое описание осадочных пород. *Кварцевые граувакки, темно-серые.* Обломки преимущественно монокристаллические разнообразной формы: угловатые, остроугольные, резко неправильной, нередко причудливой конфигурации (рис. 3, а). Состав обломков: кварц ~45–55 %; плагиоклаз ~40–45 %; ортоклаз-пертит ~ ед. зерна; биотит ~2–3%; мусковит ~1–2 %; обломки жильной кварцевой породы <1 %; обломки микрокварцита ~ ед. зерна; рудный минерал ~ ед. зерна; апатит ~ ед. зерна; рутил ~ ед. зерна; органическое вещество ~2–3 %; обломки вулканических пород ~15 %. Структура породы алевропсаммитовая мелкозернистая с размером обломков в пределах 0,03–0,6 мм. Обломки не сортированы, без признаков окатанности. Обычный поровый цемент в породе отсутствует, наличие матрикса надежно не установлено. С учетом формы обломков, особенностям химического состава данные песчаники турбидита о. Лахилл следует относить к кварцевым грауваккам. В то же время в песчаниках под микроскопом не обнаружен матрикс, который является существенным признаком граувакк по Ф. Петтиджону с соавт. [9], что может быть связано с его незначительным количеством (<10 %).

Аргиллиты. Порода черного цвета, слабосланцеватой текстуры, скрытокристаллическая с раковистым изломом. Под микроскопом наблюдается микрокристаллическое (до криптозернистого) строение. В аргиллитах выделяется вмещающая масса и включенные в нее оолитоподобные образования (см. рис. 3, б).

Вмещающая масса сложена коричневатыми при одном никеле кристаллами размером 0,003–0,012 мм, которые находятся в ассоциации с трудноразличимыми под микроскопом бесцветными зернами. Эти минералы анизотропные. Из-за того, что размеры этих минералов меньше толщины шлифа, точное определение их оптических констант не доступно.

Оолитоподобные образования (ооиды, псевдооолиты, пеллеты и т. д.) имеют слабо удлиненную, овальную, иногда круглую форму и размер порядка 0,08–0,26 мм (чаще 0,12–0,20 мм). Внутреннее строение ооидов (пеллетов) простое зональное: “ядро”, занимающее подавляющий объем ооида, и тонкая оболочка шириной 0,003–0,015 мм (см. рис. 3, б). “Ядро” ооида сложено криптозернистым, вероятно, полиминеральным агрегатом, в основном бесцветных в шлифе минералов с низким двупреломлением и с близкой оптической ориентировкой (одновременно погасают). Оболочка овоидов тоже криптозернистая, но в

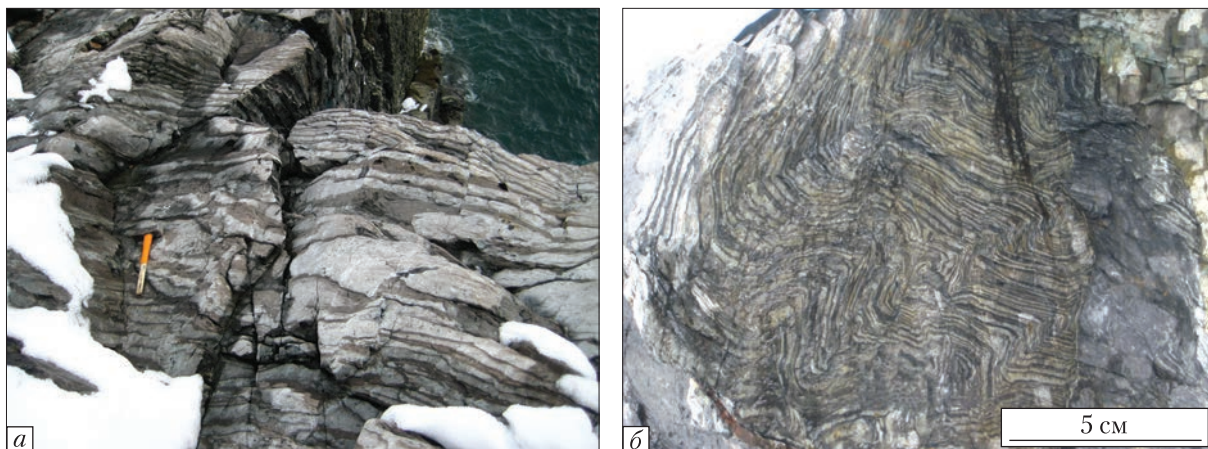


Рис. 2. Обнажение турбидитов серии тринити на о. Лахилл, серые кварцевые граувакки чередуются в разрезе с аргиллитами черного цвета (а); складки волочения в глинистых сланцах, скол породы имеет размер 15 × 15 см (б)

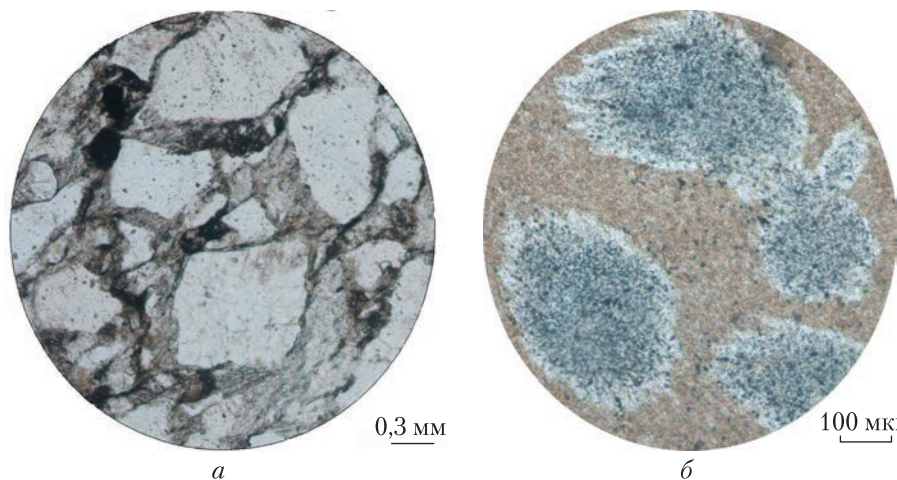
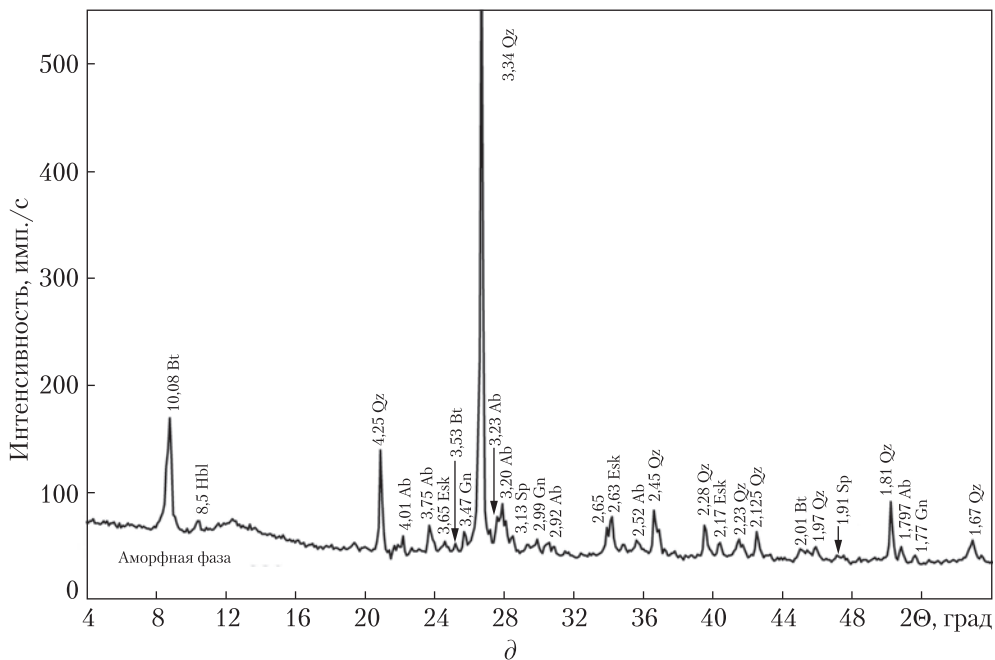
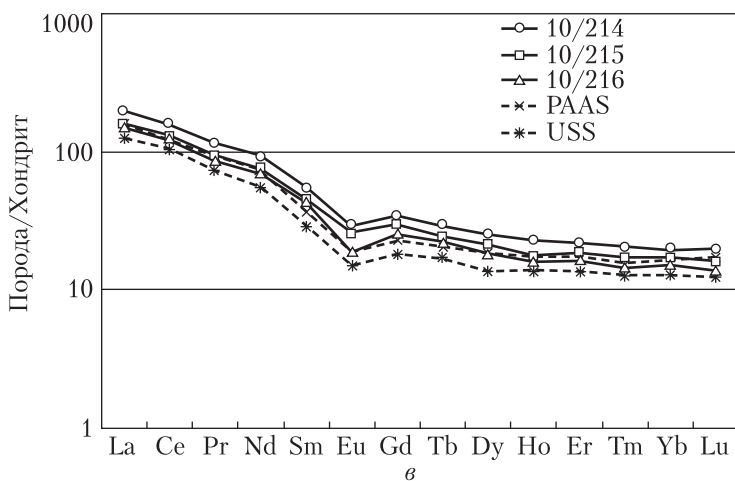
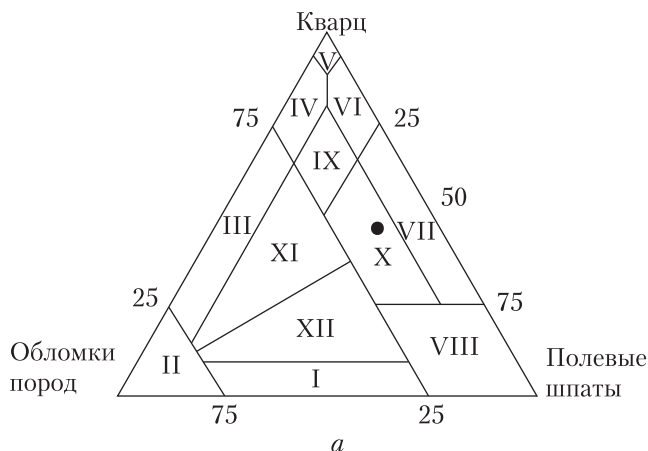


Рис. 3. Кварцевая граувакка, обр. 10/213 (а); аргиллит, обр. 10-216 (б)

отличие от “ядра” мономинеральная, сложенная бесцветным минералом с низким дву- преломлением и погасающая одновременно с “ядром”.

На минерально-петрографической классификационной диаграмме Шутова [10] (рис. 4, а) осадочные породы о. Лахилл попадают в поле кварц-полевошпатовых пород группы граувакк. На диаграмме в координатах полевые шпаты – кварц – обломки пород (F–Q–L) [11] граувакки о. Лахилл попадают в поле осадков зрелых дуг (см. рис. 4, б) и находятся в поле петрофации группы С [8]. Преобладающее количество фигуративных точек осадочных пород серии тринити п-ва Тринити находятся в полях с небольшим количеством обломков пород – А, В, С.

Результаты петрохимических исследований осадочных пород. В кварцевых граувакках содержание SiO_2 (62,03–68,10 %) выше, чем в аргиллитах (табл. 1). Na_2O преобладает над K_2O ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,71\div 2,6$). В аргиллитах меньше кремнезема SiO_2 (56,21–57,99 %), а



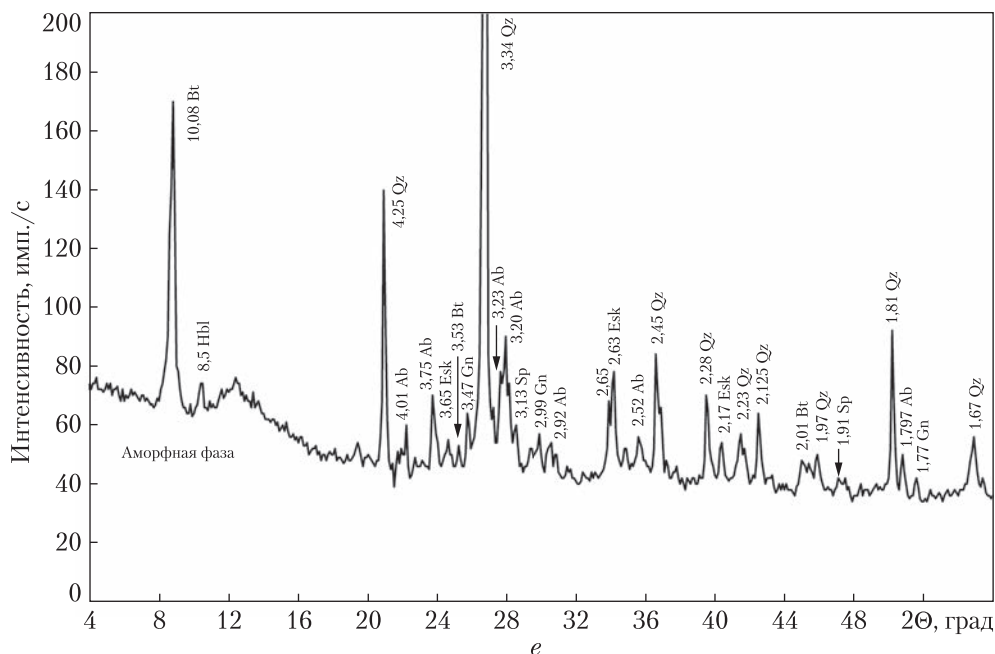


Рис. 4. Петрохимическая и геохимическая характеристика осадочных пород о. Лахилл: *а* – минерально-петрографический состав пород флишовой толщи по классификации обломочных пород В.Д. Шутова [10]. Кварцевая группа: I – монокристовые кварцевые; II – кремнекласитно-кварцевые; III – полевошпатово-кварцевые; IV – мезомиктовые кварцевые. Аркозовая группа: V – собственно аркозы; VI – граувакковые аркозы. Граувакковая группа (граувакки): VII – кварцевые; VIII – полевошпат-кварцевые; IX – собственно граувакки; X – кварц-полевошпатовые; XI – полевошпатовые, XII – породы не чисто терригенного происхождения (кристаллотуфовые накопления). *б* – модальный состав песчаников и сланцев на диаграмме FQL [11]. Q – кварц; F – полевой шпат; L – обломки пород. Петрофации осадков, нанесенные на эту диаграмму, даны по [12, 4]. Группа А соответствует породам с большим количеством обломков вулканических пород; в группе В небольшое количество обломков пород; в группе С количество обломков пород промежуточное между группами А и В и большое количество кварца; в группе Х большое количество обломков пород и кварца. *в* – график распределения редкоземельных элементов, нормировано на состав хондрита С1. *г* – диаграмма Ni–V–Th*10 для кварцевых граувакк и аргиллитов [13]. *д, е* – рентгенограммы аргиллита (обр. 10/216) – обзорная (*д*) и в увеличенном масштабе (3 : 1) по оси Y (*е*)

K_2O преобладает над Na_2O ($Na_2O/K_2O = 0,43 \div 0,58$). Количество железа и магния в аргиллитах ($FeO_{tot} + MgO = 11,5 \div 11,8 \%$) значительно больше, чем в кварцевых граувакках ($FeO_{tot} + MgO = 6,3 \div 7,9 \%$).

Для большей части образцов кварцевых граувакк и аргиллитов индекс химического изменения $CI_A < 70$, что указывает на слабую химическую выветренность пород в области сноса (см. табл. 1). Кварцевые граувакки характеризуются меньшими индексами выветривания CI_W (65,8–69,9) и измененности плагиоклаза PI_A (61,4–67,2), чем аргиллиты, у которых индексы CI_W 81,1–82,4 и PI_A 75,7–79,2. Чередование кварцевых граувакк и аргиллитов определялось, вероятно, сезонными колебаниями климатических условий.

В кварцевых граувакках и аргиллитах о. Лахилл повышенное содержание Th (13,2–16,9 ppm), Zr (92–174 ppm) и суммы РЗЭ (177–230 ppm) (табл. 2). На графиках РЗЭ наблюдаются отрицательные европиевые аномалии ($Eu/Eu^* = 0,56 \div 0,70$) (см. рис. 4, *в*). Они не деплетированы тяжелыми РЗЭ и обогащены легкими РЗЭ. Такой спектр распределе-

Таблица 1. Результаты силикатных анализов осадочных пород о. Лахилл, %

| Окислы | 1 – 10/213 | 2 – 10/214 | 3 – 10/215 | 4 – 10/216 | 5 – 10/217 |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SiO ₂ | 68,10 | 62,03 | 57,99 | 56,21 | 64,81 |
| TiO ₂ | 0,84 | 0,94 | 1,14 | 1,14 | 0,66 |
| Al ₂ O ₃ | 14,25 | 17,33 | 18,03 | 18,29 | 14,97 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,43 | 0,52 | 1,61 | <0,10 | <0,10 |
| FeO | 3,39 | 5,01 | 6,01 | 7,86 | 5,10 |
| MnO | 0,07 | 0,07 | 0,10 | 0,19 | 0,21 |
| MgO | 2,49 | 2,42 | 4,00 | 3,93 | 2,04 |
| CaO | 2,48 | 4,05 | 1,84 | 2,07 | 3,11 |
| Na ₂ O | 4,40 | 3,42 | 2,00 | 2,20 | 4,68 |
| K ₂ O | 1,69 | 2,00 | 3,40 | 5,02 | 2,60 |
| S _{общ} | <0,02 | <0,02 | 0,04 | <0,02 | <0,02 |
| P ₂ O ₅ | 0,12 | 0,25 | 0,15 | 0,11 | 0,09 |
| H ₂ O ⁻ | 0,29 | 0,04 | 0,60 | 0,12 | 0,10 |
| П.п.п. | 0,97 | 2,28 | 2,80 | 2,59 | 1,22 |
| Сумма | 99,54 | 100,36 | 99,71 | 99,73 | 99,59 |
| Na ₂ O/K ₂ O | 2,6 | 1,71 | 0,58 | 0,43 | 1,8 |
| СIА | 62,5 | 64,7 | 71,4 | 66,3 | 59,03 |
| СIW | 67,4 | 69,9 | 82,4 | 81,1 | 65,8 |
| PIA | 64,6 | 67,2 | 79,21 | 75,7 | 61,4 |

Примечание. 1 – кварцевая граувакка (обр. 10/213); 2 – то же (обр. 10/214); 3 – аргиллит (обр. 10/215); 4 – то же (обр. 10/216); 5 – кварцевая граувакка (обр. 10/217). Индекс химического изменения (СIА) – $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{NaO} + \text{K}_2\text{O})] \cdot 100$; индекс выветривания (СIW) – $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{NaO})] \cdot 100$; индекс изменения плагиоклаза (PIA) – $[(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})] \cdot 100$.

Таблица 2. Содержание элементов в осадочных породах о. Лахилл, ppm

| Элементы | 1 – 10/214 | 2 – 10/215 | 3 – 10/216 | Элементы | 1 – 10/214 | 2 – 10/215 | 3 – 10/216 |
|----------|------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|------------|
| Li | 23,0 | 61,1 | 66,2 | La | 46,5 | 37,2 | 35,7 |
| Be | 2,6 | 3,1 | 2,7 | Ce | 96,6 | 79,6 | 75,6 |
| Sc | 14,2 | 16,9 | 20,0 | Pr | 11,0 | 8,9 | 8,2 |
| V | 114 | 145 | 172 | Nd | 42,9 | 35,8 | 32,6 |
| Cr | 76,7 | 98,8 | 82,3 | Sm | 8,3 | 7,0 | 6,7 |
| Co | 12,9 | 19,8 | 22,7 | Eu | 1,7 | 1,5 | 1,1 |
| Ni | 25,9 | 36,6 | 43,1 | Gd | 7,0 | 6,1 | 5,3 |
| Cu | 37,4 | 45,0 | 44,9 | Tb | 1,1 | 0,90 | 0,83 |
| Zn | 97,8 | 124 | 152 | Dy | 6,4 | 5,4 | 4,7 |
| Ga | 20,8 | 24,6 | 25,5 | Ho | 1,3 | 1,0 | 0,90 |
| As | 10,3 | 16,1 | 12,1 | Er | 3,6 | 3,1 | 2,7 |
| Se | < 1,1 | < 1,3 | < ПО | Tm | 0,52 | 0,44 | 0,37 |
| Rb | 99,1 | 184 | 217 | Yb | 3,3 | 2,9 | 2,6 |
| Sr | 414 | 289 | 105 | Lu | 0,50 | 0,41 | 0,35 |
| Y | 33,0 | 27,2 | 25,5 | Hf | 5,1 | 3,4 | 2,6 |
| Zr | 174 | 110 | 92,1 | Ta | 1,5 | 1,8 | 1,3 |
| Nb | 15,7 | 16,0 | 18,6 | W | 1,8 | 1,9 | 2,1 |
| Mo | 2,9 | 2,2 | 1,0 | Pb | 27,5 | 27,7 | 41,2 |
| Ag | 0,051 | 0,061 | 0,090 | Th | 16,9 | 14,2 | 13,2 |
| Sn* | 4,2 | 5,4 | 5,3 | U | 3,7 | 3,2 | 2,4 |
| Sb | 0,97 | 0,92 | 0,34 | (La/Yb) _N | 10,11 | 9,2 | 9,85 |
| Te | < ПО | 0,077 | < ПО | Eu/Eu* | 0,68 | 0,70 | 0,56 |
| Cs | 4,7 | 10,9 | 12,4 | Th/Sc | 1,19 | 0,84 | 0,66 |
| Ba | 449 | 615 | 634 | La/Th | 2,8 | 2,6 | 2,7 |
| Bi | 0,33 | 0,65 | 0,385 | La/Sc | 3,27 | 2,20 | 1,79 |

Примечание. Привязки проб даны в табл. 1.

ния РЗЭ наблюдается в кислых магматических породах корового генезиса. На диаграмме V—Ni—Th*10 [13] точки граувакк и аргиллитов образуют тренд от поля кислых к полю основных пород (см. рис. 4, з). На присутствие в области сноса основных пород также указывает повышенное содержание V (114–172 ppm), Cr (76,7–98,8 ppm) и Ni (25,9–43,1 ppm). В аргиллитах значительно выше содержание рудных элементов и Ва, чем в кварцевых граувакках. Повышенное содержание As (10,3–12,1 ppm), Pb (27,5–41,2 ppm) и Zn (97,8–152 ppm) может указывать на фумарольную активность в бассейне осадконакопления.

Результаты рентгенофазового анализа аргиллитов (обр. 10/216). Исследование минерального состава аргиллитов методом рентгенофазового анализа показало, что преобладающей фазой в них является кварц (Qz) с подчинённым содержанием биотита (Bt) и небольшим количеством амфибола (Hbl) (см. рис. 4, д). На рентгенограмме установлено не менее пяти фаз, интенсивность линий которых достаточно мала (см. рис. 4, д). Для идентификации этих фаз интенсивность их линий по оси Y была увеличена не менее чем в три раза (см. рис. 4, е). Диагностированы альбит (Ab), сфалерит (Sp), галенит (Gn) и эсколаит Cr₂O₃ (Esk). Присутствие сульфидов Pb и Zn и оксида Cr подтверждается повышенным содержанием Pb (41,2 ppm), Zn (152 ppm) и Cr (82,3 ppm) по результатам ICP (см. табл. 2).

Согласно результатам петрографических и минералогических исследований, изучаемые аргиллиты образовались в условиях позднего катагенеза—раннего метагенеза по классификации осадочных пород по Н.В. Логвиненко и Л.В. Орловой [14].

Выводы. Установлена очень низкая степень изменения исходных осадков серии тринити в южной части ареала их распространения (район о. Лахилл) в условиях позднего катагенеза—раннего метагенеза по шкале Н.В. Логвиненко и Л.В. Орловой. В отличие от этого района, осадочные породы серии тринити в северной части Антарктического полуострова метаморфизованы в условиях пренит-пумпелеит-, пумпелеит-актинолит- и зеленосланцевой фациях. Геохимические данные и петрографические наблюдения показывают, что в области сноса кварцевых граувакк и сланцев о. Лахилл преобладали магматические породы кислого состава, бедные калиевым полевым шпатом, имеющие коровый генезис. В подчиненном количестве в области сноса были основные породы. На это указывает повышенное содержание V (114–172 ppm), Cr (76,7–98,8 ppm) и Ni (25,9–43,1 ppm). Согласно полученным данным, осадочные породы серии тринити исследуемого района образовались в верхней части континентального склона.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Adie R.J. The petrology of Graham Land: III. Metamorphic rocks of the Trinity Peninsula series. London: HMSO, 1957. 26 p. (Falkland Islands Dependencies Survey, Scientific Reports, № 20).
2. Burton-Johnson A., Riley T.R. Autochthonous v. accreted terrane development of continental margins: a revised *in situ* tectonic history of the Antarctic Peninsula. *J. Geol. Soc.* 2015. **172**. P. 822–835. <https://doi.org/10.1144/jgs2014-110>
3. Vaughan A.P.M., Storey B.C. The eastern Palmer Land shear zone: a new terrane accretion model for the Mesozoic development of the Antarctic Peninsula. *J. Geol. Soc. London.* 2000. **157**. P. 1243–1256. <https://doi.org/10.1144/jgs.157.6.1243>
4. Smellie J.L., Roberts B., Hiron S.R. Very low- and low-grade metamorphism in the Trinity Peninsula Group (Permo-Triassic) of northern Graham Land, Antarctic Peninsula. *Geol. Mag.* 1996. **133**. P. 583–594. <https://doi.org/10.1017/S00167568000786X>

5. Barbeau D.L., Davis J.T., Murray K.E., Valencia V., Gehrels G.E., Zahid K.M., Gombosi D.J. Detrital-zircon geochronology of the metasedimentary rocks of north-western Graham Land. *Antarct. Sci.* 2010. **22**. P. 65–78. <https://doi.org/10.1017/S095410200999054X>
6. Willan R.C.R. Provenance of Triassic-Cretaceous sandstones in the Antarctic Peninsula: implications for terrane models during Gondwana breakup. *J. Sediment. Res.* 2003. **3**. P. 1062–1077. <https://doi.org/10.1306/050103731062>
7. Bradshaw J.D., Vaughan P.M., Millar I.L., Flowerdew M.J., Trouw R.A.J., Fanning C.M., Whitehouse M.J. Permo-Carboniferous conglomerates in the Trinity Peninsula Group at View Point, Antarctic Peninsula: sedimentology, geochronology and isotope evidence for provenance and tectonic setting in Gondwana. *Geol. Mag.* 2012. **149**, № 4. P. 626–644. <https://doi.org/10.1017/S001675681100080X>
8. Castillo P., Lacassie J.P., Augustsson C., Herve F. Petrography and geochemistry of the Carboniferous–Triassic Trinity Peninsula Group, West Antarctica: implications for provenance and tectonic setting. *Geol. Mag.* 2014. **152**, № 4. P. 575–588. <https://doi.org/10.1017/S0016756814000454>
9. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. Москва: Мир, 1976. 536 с.
10. Шутов В.Д. Классификация песчаников. *Литология и полезные ископаемые*. 1967. № 5. С. 86–102.
11. Dickinson W.R., Berad L.S., Brakenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.F., Knepp R.A., Lindberg F.A., Ryberg P.T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation-to-tectonic-setting. *GSA Bulletin*. 1983. **94**, № 2. P. 222–235. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<222: PONAPS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<222: PONAPS>2.0.CO;2)
12. Smellie J.L. Stratigraphy, provenance and tectonic setting of (?) Late Palaeozoic-Triassic sedimentary sequences in northern Graham Land and South Scotia Ridge. *Geological Evolution of Antarctica*: Thomson M.R.A., Crame J.A., Thomson J.W. (Eds.). Cambridge University Press, 1991. P. 411–417.
13. Bracciali L., Marroni, M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): From source areas to configuration of margins. *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*: Geological Society of America, Special Paper 420. 2007. P. 73–93. [https://doi.org/10.1130/2006.2420\(06\)](https://doi.org/10.1130/2006.2420(06))
14. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. Ленинград: Недра, 1987. 237 с.

Поступило в редакцию 13.02.2020

REFERENCES

1. Adie, R. J. (1957). The petrology of Graham Land: III. Metamorphic rocks of the Trinity Peninsula series. London: HMSO. (Falkland Islands Dependencies Survey, Scientific Reports, No. 20).
2. Burton-Johnson, A., & Riley, T. R. (2015). Autochthonous v. accreted terrane development of continental margins: a revised *in situ* tectonic history of the Antarctic Peninsula. *J. Geol. Soc.*, 172, pp. 822-835. <https://doi.org/10.1144/jgs2014-110>.
3. Vaughan, A. P. M. & Storey, B. C. (2000). The eastern Palmer Land shear zone: a new terrane accretion model for the Mesozoic development of the Antarctic Peninsula. *J. Geol. Soc. London*, 157, pp. 1243-1256. <https://doi.org/10.1144/jgs.157.6.1243>
4. Smellie, J. L., Roberts, B. & Hiron, S. R. (1996). Very low- and low-grade metamorphism in the Trinity Peninsula Group (Permo-Triassic) of northern Graham Land, Antarctic Peninsula. *Geol. Mag.*, 133, pp. 583-594. <https://doi.org/10.1017/S00167568000786X>
5. Barbeau, D. L., Davis, J. T., Murray, K. E., Valencia, V., Gehrels, G. E., Zahid, K. M. & Gombosi, D. J. (2010). Detrital-zircon geochronology of the metasedimentary rocks of north-western Graham Land. *Antarct. Sci.*, 22, pp. 65-78. <https://doi.org/10.1017/S095410200999054X>
6. Willan, R. C. R. (2003). Provenance of Triassic-Cretaceous sandstones in the Antarctic Peninsula: implications for terrane models during Gondwana breakup. *J. Sediment. Res.*, 73, pp. 1062-1077. <https://doi.org/10.1306/050103731062>
7. Bradshaw, J. D., Vaughan, P. M., Millar, I. L., Flowerdew, M. J., Trouw, R. A. J., Fanning, C. M. & Whitehouse, M. J. (2012). Permo-Carboniferous conglomerates in the Trinity Peninsula Group at View Point, Antarctic Peninsula: sedimentology, geochronology and isotope evidence for provenance and tectonic setting in Gondwana. *Geol. Mag.*, 149, No. 4, pp. 626-644. <https://doi.org/10.1017/S001675681100080X>

8. Castillo, P., Lacassie, J.P., Augustsson, C. & Herve, F. (2014). Petrography and geochemistry of the Carboniferous–Triassic Trinity Peninsula Group, West Antarctica: implications for provenance and tectonic setting. *Geol. Mag.*, 152 No. 4, pp. 575-588. <https://doi.org/10.1017/S0016756814000454>
9. Pettijon, F., Potter, P. & Seaver, R. (1976). Sands and sandstones. Moscow: Mir (in Russian).
10. Shutov, V. D. (1967). Classification of sandstones. *Litologiya i poleznyie iskopaemye*, No. 5, pp. 86-102 (in Russian).
11. Dickinson, W. R., Berad, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A. & Ryberg, P. T. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic-setting. *GSA Bulletin*, 94, No. 2, pp. 222-235. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<222: PONAPS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<222: PONAPS>2.0.CO;2)
12. Smellie, J. L. (1991). Stratigraphy, provenance and tectonic setting of (?) Late Palaeozoic-Triassic sedimentary sequences in northern Graham Land and South Scotia Ridge. In Thomson, M. R. A., Crame, J. A. & Thomson, J. W. (Eds.). *Geological Evolution of Antarctica* (pp. 411-417). Cambridge: Cambridge University Press.
13. Bracciali, L., Marroni, M., Pandolfi, L. & Rocchi, S. (2007). Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): From source areas to configuration of margins. *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry Geological Society of America, Special Paper 420* (pp. 73-93). [https://doi.org/10.1130/2006.2420\(06\)](https://doi.org/10.1130/2006.2420(06))
14. Logvinenko, N. V. & Orlova, L. V. (1987). Formation and change of sedimentary rocks on the continent and in the ocean. Leningrad: Nedra (in Russian).

Received 13.02.2020

Г.В. Артеменко¹, В.І. Ганоцький²,
О.Є. Гречанивська¹, Л.І. Канунікова¹, І.А. Швайка¹

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ

² НТУ “Дніпровська політехніка”

E-mail: regulgeo@gmail.com

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ГЕНЕЗИС ОСАДОВИХ ПОРІД СЕРІЇ ТРИНІТІ (РАЙОН ОСТРОВА ЛАХІЛЛ, ЗАХІДНА АНТАРКТИДА)

Осадкові породи серії триніті простежуються на Антарктичному півострові від північної частини на південь впродовж близько 500 км. Визначення області їх знесення та умов формування має велике значення для реконструкції меж суперконтиненту Гондвана. Осадкові породи серії триніті досить повно вивчені в північній частині Антарктичного півострова і значно слабше – у південній частині ареалу їх поширення. Нами вивчена товща турбідитів у східній частині о. Лахілл. Вони представлені чергуванням шарів кварцевих грауваків потужністю від перших сантиметрів до 30 см і аргілітів потужністю від перших сантиметрів до 15 см. У кварцевих грауваках уламки переважно монокристалічні, рідше уламки порід різноманітної форми – гострокутні, різко неправильної форми. Розмір уламків варіює від 0,03 до 0,6 мм. Аргіліти складаються з вміщуючої маси і включених у неї оолітоподібних утворень, які складені криптозернистими мінералами. Дослідження мінерального складу аргілітів методом рентгенофазового аналізу показало, що переважаючим мінералом у ньому є кварц з підпорядкованою кількістю біотиту і домішкою альбіту та деяких рудних мінералів. Визначено низький ступінь зміни первинних осадів серії триніті в південній частині ареалу їх поширення – в умовах пізнього катагенезу–раннього метагенезу за шкалою Н.В. Логвиненко і Л.В. Орлової. На відміну від цього району, осадкові породи серії триніті у північній частині Антарктичного півострова метаморфізовані в умовах преніт-пумпелейт-, пумпелейт-актиноліт- і зеленосланцевої фації. Встановлено, що в області знесення осадкових порід району о. Лахілл переважали кислі і середні магматичні породи натрієвого складу корового генезису і в підпорядкованій кількості були також основні породи. Згідно з отриманими даними, осадкові породи серії триніті досліджуваного району утворилися у верхній частині континентального схилу.

Ключові слова: Антарктичний півострів, Гондвана, серія триніті, турбідити, кварцеві грауваки, аргіліти, оолітоподібні структури, петрофація, область знесення осадів, рідкоземельні елементи.

G.V. Artemenko¹, V.I. Ganozkiy²,
E.E. Grechanivska¹, L.I. Kanunikova¹, I.A. Shvaika¹

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation,
of the NAS of Ukraine, Kyiv

² National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica"
E-mail: regulgeo@gmail.com

GEOCHEMICAL FEATURES AND GENESIS
OF SEDIMENTARY ROCKS OF THE TRINITY SERIES
(AREA OF THE LAHILLE ISLAND, WEST ANTARCTICA)

Sedimentary rocks of the Trinity series are observed on the Antarctic Peninsula from the northern part to the south for about 500 km. Determining their sedimentation area and formation conditions is of great importance for reconstructing the boundaries of the Gondwana supercontinent. Sedimentary rocks of the Trinity series have been fully studied in the northern part of the Antarctic Peninsula and much less in the southern part of their distribution area. We studied the thickness of turbidites in the eastern part of the Lahille island. Turbidites are represented by intercalation of layers of quartz graywackes, thicknesses from the first centimeters to 30 cm and argillites, thicknesses from the first centimeters up to 15 cm. In quartz graywackes, fragments are predominantly monocrystalline, less often fragments of rocks of various shapes - angular, acute-angled, sharply irregular in shape. The size of the debris varies from 0.03 to 0.6 mm. Argillites consist of a host mass and oolite-like formations included in it, which are composed of cryptogranular minerals. A study of the mineral composition of argillite by X-ray diffraction analysis showed that the predominant minerals therein are quartz with a subordinate amount of biotite and an admixture of albite and some ore minerals. A very low degree of change in the primary sedimentary rocks of the Trinity series in the southern part of the area of their distribution – in the conditions of late catagenesis – early metagenesis according to the scale by N.V. Logvinenko and L.V. Orlova was established. In contrast to this region, sedimentary rocks of the Trinity series in the northern part of the Antarctic Peninsula are metamorphosed under the conditions of prehnite-pumpellyite, pumpellyite-actinolite and green shale facies. It has been established that, in the area of sedimentary rock demolition in the area of the Lahille island, the acidic and medium igneous rocks of the sodium composition of the crustal genesis are dominant and, in a subordinate amount, there were also basic rocks. According to the data obtained, sedimentary rocks of the Trinity series of the study area were formed in the upper part of the continental slope.

Keywords: *Antarctic Peninsula, Gondwana, Trinity series, turbidites, quartz greywacke, mudstone, oolitic structures, petrofacies, sedimentation area, rare earth elements.*