

УДК (552.313:54):551.72](47-11)

Т. М. Сокур

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО ПРОТЕРОЗОЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

T. M. Sokur

PETROCHEMICAL DIAGNOSTICS OF VOLCANOGENIC ROCKS OF THE UPPER PROTEROZOIC ON THE SOUTH-WESTERN SLOPE OF EAST-EUROPEAN PLATFORM

Метою досліджень є визначення генетичної природи та реконструкція умов формування туфів та туфогенних аргилітів бронницьких верств, а також діагностика присутності камуфльованої пірокластички в аргілітах яришевської світи, зіставлення умов перетворення вулканогенних продуктів у бернашевських та зиньківських верствах. Для досягнення мети застосовано мінералогічний, петрографічний, геохімічний та ряд інших методів дослідження аргилітів.

Ключові слова: кислий вулканізм, туфи та туфоаргіліти, верхній протерозой, Східноєвропейська платформа.

Целью исследований является определение генетической природы и реконструкция условий формирования туфов и туфогенных аргиллитов бронницких слоев, а также диагностика присутствия камуфлированной пирокластички в аргиллитах яришевской свиты, сопоставления условий преобразования вулканогенных продуктов в бернашевских и зиньковских слоях. Для достижения данной цели были применены минералогический, петрографический, геохимический и ряд других методов исследований аргиллитов.

Ключевые слова: кислый вулканизм, туфы и туфоаргиллиты, верхний протерозой, Восточно-Европейская платформа.

Purpose of research is to identify of genetic nature and conditions of formation of tuff and tuffaceous mudstones of bronnitsa layers and diagnosis camouflaged pyroclastics in the mudstones of yaryshevskaya formation, comparing the conditions of transformation of volcanogenic products in bernashevka and zinkov layers. To achieve this goal were applied petrographic, geochemical, mineralogical and various other methods of research of mudstone.

Keywords: acidic volcanism, tuff and tuffaceous mudstones, upper proterozoic, East-European platform.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из сложнейших проблем вулканогенно-осадочного литогенеза является установление роли вулканических процессов в осадкообразовании. Интересным в этом отношении являются верхнепротерозойские отложения юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы (Днестровский перикратон), представленные терригенно-вулканогенными породами яришевской свиты могилев-подольской серии (бернашевские, бронницкие, зиньковские слои). Терригенно-вулканогенная пачка, являющаяся маркирующим горизонтом, по которому коррелируются разрезы верхневендских отложений юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы, обособлена как бронницкие слои (средняя часть редкинского горизонта). Пелитовые витрофировые туфы в бронницких слоях были установлены А. В. Копелиовичем по наличию реликтовых пепловых структур в бурых плотных аргиллитах [3].

Целью исследований является определение генетической природы и реконструкция условий формирования туфов и туфогенных аргил-

литов бронницких слоев, а также диагностика присутствия камуфлированной пирокластички в аргиллитах бернашевских и зиньковских слоев, сопоставление условий преобразования вулканогенных продуктов яришевской свиты.

Бронницкие слои сложены однородной толщей бурых, ярко-бурых, красных, светло-зеленых, белых, очень плотных, массивных с раковистым изломом туфогенных аргиллитов. В единичных разрезах наблюдаются прослои до 5 см, содержащие округлые и угловатые псефитовые и псаммитовые обломки до 1,5 см аргиллитов, часто с глауконитом. Такие обломки имеют ярко-зеленую окраску и резко отличается от вмещающего бурого матрикса. Вне зависимости от окраски аргиллиты имеют дисперсную тонкочешуйчатую структуру и сложены кремнисто-гидрослюдистым материалом с примесью хлорита, со значительным объемом рентгеноаморфной фазы. В бурых аргиллитах в значительном количестве присутствует гематит. Постоянно наблюдается кварц и полевой шпат как алевритовая или редкая псаммитовая примесь, обломки бесцветного или буроватого вулканического стекла, единичные лейсты

зеленого биотита и гидробиотита, единичные правильной ромбоэдрической формы кристаллы кальцита, удлиненные листоватые или сферические образования, величиной не более 0,16 мм. В отдельных прослоях в аргиллитах наблюдаются скопления темного слабо раскристаллизованного вещества без резких очертаний линзовидной, серповидной, древовидной формы, изогнутые, которые представляют собой, вероятно, реликты псаммитового пеплового материала, величиной от 0,18–0,24 мм до 1,17 мм. Состав таких скоплений гидрослюдисто-гематитовый и кремнистый; при этом в породе наблюдаются также отдельные глобулы кремнезема, величиной до 0,015 мм.

Продукты изменения туфогенных пород — светло-зеленые, белые и желтые бентонитовые глины. Основным их компонентом является монтмориллонит.

Мощность бронницких слоев в полных разрезах колеблется от 9 до 12 м, при этом слой красных туфов (5–6 см) легко узнается на Волини, а на севере Одесской области составляет почти

20 м. Вероятно, центры извержений не были значительно удалены от исследуемой территории. Установлено, что псаммитовые вулканические обломки (реликты которых фиксируются в аргиллитах) не разносятся далее 70–80 км от вулканического аппарата. В.А. Великанов предположил, что источник эксплозивного материала находился в области Добруджи [1].

Бронницкие слои с нижележащими бернашевскими имеют резкий, хорошо выраженный контакт. **Бернашевские слои** представлены пачками песчаников в нижней и верхней частях, а в середине залегают аргиллиты. Структура аргиллитов тонкочешуйчатая и пластинчатая, беспорядочная. Выделяются отдельные крупные лейсты опациitized биотита, мусковита, хлорита, аутигенного глауконита. В нижней пачке песчаников наблюдается прослой 10–30 см белых и зеленоватых бентонитовых глин. В кровле слоев наблюдается примесь до 30 % псаммитовых обломков тонкодисперсных аргиллитов, различных причудливых форм, представляющих собой гидрослюдизирован-

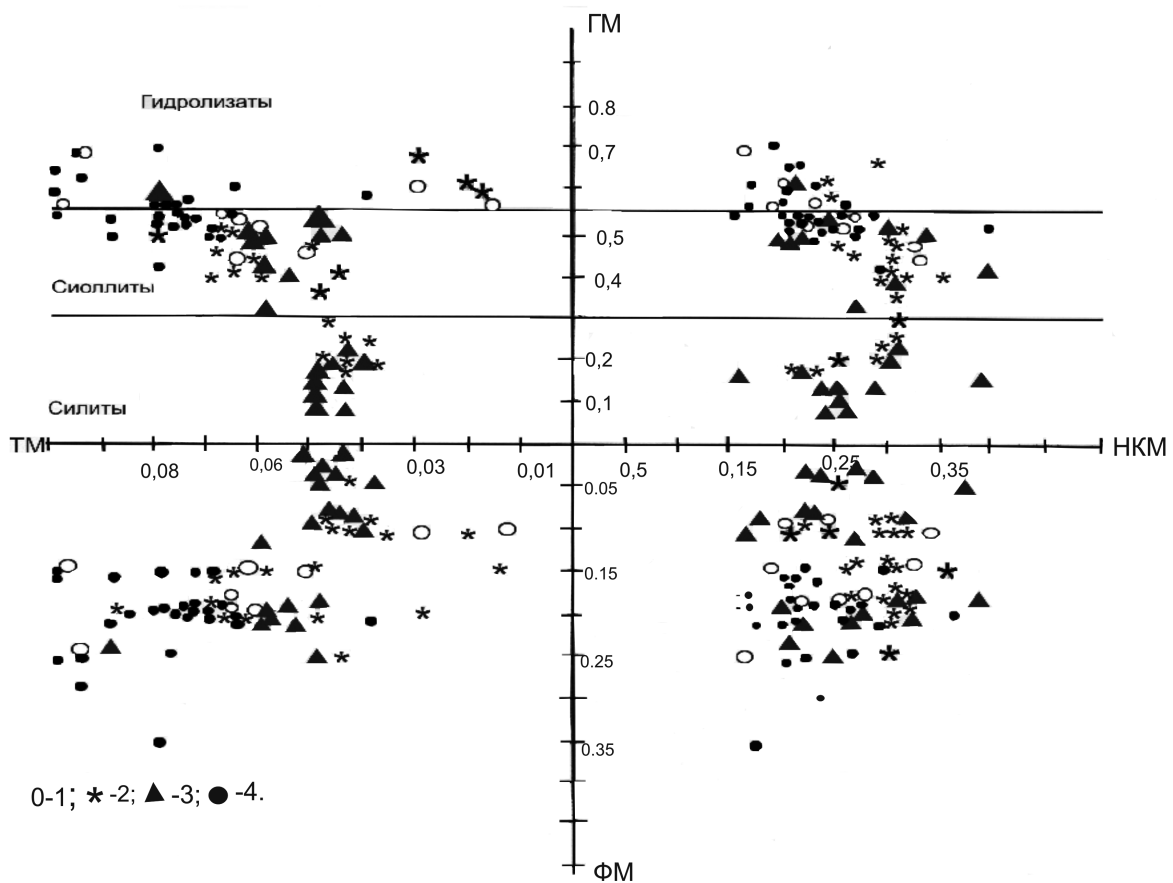


Рис 1. Сводная модульная диаграмма ГМ-ФМ-ТМ-НКМ [6] для туфов, туфоаргиллитов и аргиллитов бернашевских, бронницких и зиньковских слоев

1 — аргиллиты бернашевских слоев, 2 — аргиллиты бронницких слоев, 3 — туфы и туфоаргиллиты бронницких слоев, 4 — аргиллиты зиньковских слоев.

ное вулканическое стекло. С вышележащими зиньковскими слоями бронницкие связаны постепенными переходами, и граница между ними условная.

Зиньковские слои представлены толщиной переслаивающихся аргиллитов, содержащих глауконит и фосфатные линзы, алевритистых аргиллитов, алевролитов и мелкозернистых песчаников, в которых, наряду с обычным терригенным материалом, присутствуют продукты переотложения эффузивов и их туфов с примесью пирокластического материала. Структура аргиллитов тонкочешуйчатая параллельная, редко беспорядочная. Присутствуют крупные лейсты биотита, зеленого хлорита, зерна аутигенного глауконита, глобулярный пирит. По данным рентгеноструктурного анализа глинистая часть породы имеет каолин-хлорит-гидро-слюдистый состав с примесью карбоната и пирита [4].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения литохимических особенностей бернашевских, бронницких и зиньковских слоев была использована классификация Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [6]. Используются

оригинальные химические анализы аргиллитов, туфоаргиллитов, туфов и бентонитовых глин автора, А. В. Сочавы и Л. В. Коренчук (банк литохимических данных Precsed, ИГГД РАН) в количестве 108 анализов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Согласно гидролизатному модулю ($GM=(Al_2O_3+TiO_2+Fe_2O_3+FeO)/SiO_2$) аргиллиты бернашевских и зиньковских слоев принадлежат к классам нормосиаллитов до гипогидролизатов (таблица. 1, рис. 1). Значения туфов бронницких слоев попадают в диапазон, отвечающий миосилитам до гипогидролизатов. В бернашевских аргиллитах вверх по разрезу происходит увеличение содержание SiO_2 и уменьшение Al_2O_3 , в бронницких и зиньковских наблюдается обратная тенденция. Кроме главного классификационного модуля ГМ для более детальной характеристики литотипов использованы дополнительные петрохимические параметры, учитывающие градации пород по их фемичности ($FM=(Fe_2O_3+FeO+MnO+MgO)/SiO_2$), титанистости ($TM=TiO_2/Al_2O_3$), железистости ($JM=(Fe_2O_3+FeO+MnO)/(Al_2O_3+TiO_2)$), щелочности ($ЩМ=Na_2O/K_2O$) и других.

Таблица 1. Границы содержаний химических составов некоторых литотипов бернашевских, бронницких, зиньковских слоев и их модулей

Окислы	Бернашевские слои		Бронницкие слои				Зиньковские слои
	Аргиллиты	Бентонит. глины	Аргиллиты	Туфо-аргиллиты	Туфы	Бентонит. глины	Аргиллиты
n	20	3	11	18	11	1	44
SiO ₂	48,16–73,55	52,0–53,44	61,8–78,22	52,70–82,05	67,29–84,58	56,91	50,68–61,85
TiO ₂	0,39–2,22	0,29–0,70	0,3–1,25	0,36–1,89	0,27–0,88	1,16	1,1–2,28
Al ₂ O ₃	10,26–27,32	25,81–26,98	7,66–18,09	6,91–20,78	5,75–14,69	24,82	16,66–22,26
Fe ₂ O ₃	0,0–7,93	2,19–3,0	0,99–9,07	0,0–10,23	0,0–9,1	1,86	0,0–11,08
FeO	0,0–8,55	0,36–0,54	1,05–4,13	0,0–5,9	0,0–3,54	0,80	0,0–7,55
MnO	0,0–5,10	–	0,0–0,16	0,0–2,02	0,0–0,08	–	0,01–0,15
MgO	0,72–8,55	1,87–2,09	0,96–2,51	1,0–6,05	0,89–2,26	2,43	0,75–2,20
CaO	0,0–3,97	0,84–1,17	0,0–1,72	0,39–2,71	0,11–2,71	1,19	0,1–4,34
Na ₂ O	0,53–2,43	0,22–0,43	0,41–0,69	0,22–1,09	0,0–1,09	1,00	0,27–1,71
K ₂ O	0,57–5,95	4,83–5,46	1,24–5,37	1,29–4,90	0,0–2,99	3,35	2,26–5,86
P ₂ O ₅	0,0–2,22	0,06–0,14	0,0–0,21	0,0–0,26	0,0–0,34	0,23	0,0–2,99
Модули							
ГМ	0,45–0,70	0,57	0,18–0,47	0,12–0,52	0,07–0,62	0,51	0,42–0,71
АМ	0,34–0,52	0,50	0,09–0,29	0,09–0,39	0,067–0,43	0,43	0,26–0,41
ТМ	0,014–0,09	0,016	0,03–0,08	0,042–0,09	0,03–0,06	0,046	0,039–0,10
ЖМ	0,094–0,44	0,11	0,15–1,10	0,006–0,94	0,006–1,56	0,083	0,32–0,75
НКМ	0,16–0,33	0,20	0,21–0,35	0,16–0,37	0,12–0,37	0,17	0,15–0,36
ЩМ	0,064–0,54	0,066	0,13–0,35	0,06–0,76	0,16–0,76	0,29	0,088–0,72
ФМ	0,093–0,25	0,10	0,03–0,24	0,02–0,25	0,011–0,26	0,08	0,15–0,35

n – количество проб. Для бентонитовых глин приведены средние значения.

Аргиллиты всех слоев, а также туфоаргиллиты и туфы аттестуются как гипо- и нормофемические, бентонитовые глины как гипофемические. Подобным образом изменяется и ЩМ, т.е. все рассматриваемые породы — гипо- и нормонатровые, а бентонитовые глины гипонатровые. Супертитанистыми оказались аргиллиты и туфоаргиллиты бронницких слоев, гипотитанистыми — аргиллиты и бентонитовые глины бернашевских слоев, остальные же литотипы аттестуются как нормотитанистые. Согласно модулю нормированной щелочности (НКМ=(Na₂O+K₂O)/ Al₂O₃) в среднем все породы характеризуются как гипо- суперщелочные.

В аргиллитах бернашевских и зиньковских слоев устанавливается положительная корреляция между ЖМ и ТМ, ТМ и ФМ, что является одним из диагностических признаков вулканогенной примеси.

Наиболее широкий разброс значений ГМ и ЖМ характерен для зиньковских слоев, залегающих выше бронницких. Вверх по разрезу отмечается нарастание значений ТМ, ЖМ, ФМ. Для зиньковских слоев также отмечаются повышенные значения ТМ, ЖМ, ФМ, что свидетельствует о присутствии значительного количества пирокластики основного состава. Вместе с тем, пониженное содержание кремнезема и более высокие значения щелочей по сравнению с нижележащими бронницкими, может указывать на привнос ранее отложенного пеплового материала.

Сравнительный анализ бентонитовых глин бернашевских и бронницких слоев показал следующие отличия. Отмечается значительное увеличение вверх по разрезу содержаний ЩМ и ТМ. Какой-либо позитивной корреляции ЖМ–ТМ или негативной корреляции ФМ–НКМ не наблюдается.

Величина индекса химического выветривания для аргиллитов согласно [8] (CIA=[Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)]×100) составляет: бернашевские слои — 63–76; бронницкие — 66–82, зиньковские — 71–86. Судя по значениям CIA, данные аргиллиты сформировались в условиях гумидного климата с постоянным увеличением интенсивности выветривания.

Условия формирования бернашевских слоев — морские мелководные. Пелитовые пепловые туфы бронницких слоев отлагались, вероятно, в условиях мелководных зон, в щелочной среде, в которой происходило выщелачивание хлорит-гидрослюдистых пеплов. Накопление толщи не было одномоментным — в перерывах на поверхности осадка образовывался глауконит, вероятно, происходило незначительное перераспределение ранее накопившегося материала, в процессе которого формировались линзы и слойки мелкой брекчии. Вулканические процессы подавляли нормальную седиментацию, которая очень незначительно проявлялась наличием алевритовой и псаммитовой кластики. Время проявления вулканической деятельности было, вероятно, кратким в геологическом

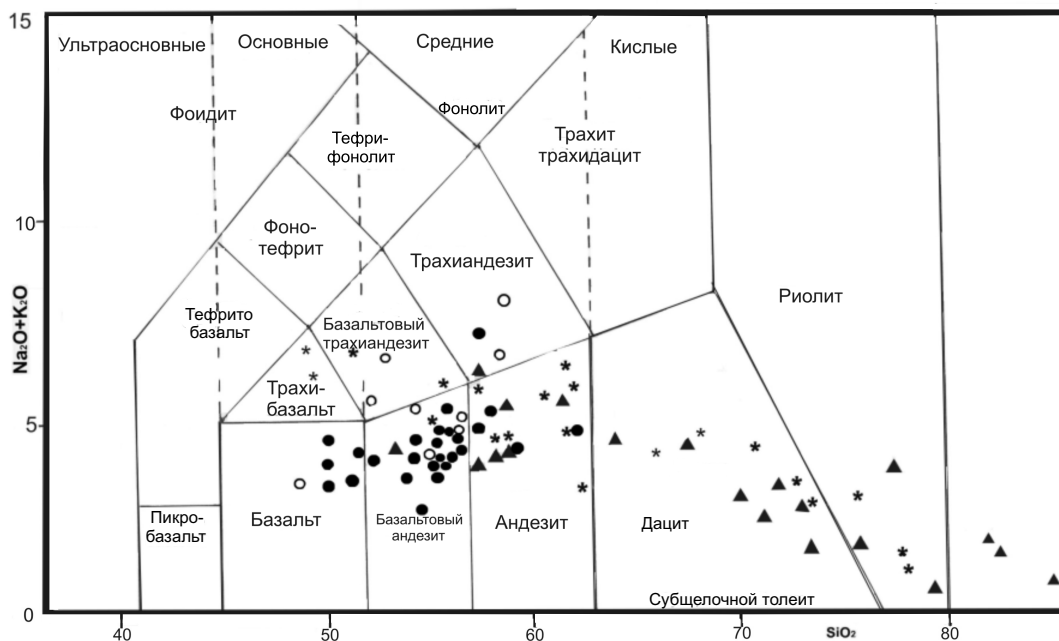


Рис. 2. TAS-диаграмма [7] петрохимического состава исходных вулканогенных пород. (Условные обозначения см. рис. 1)

отношении и сменилось периодом относительно нормального осадконакопления. Образование зиньковских слоев происходило в условиях мелководного морского бассейна с незначительной гидродимической активностью.

Для определения геодинамического режима формирования осадков бернашевских и зиньковских слоев была построена модульная диаграмма для песчаников в координатах $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [9]. Бронницкие слои не анализировались в связи с отсутствием песчаников. Фигуративные точки песчаников бернашевских слоев располагаются в зоне активных континентальных окраин в непосредственной близости к условной границе полей активных континентальных окраин и океанических островодужных комплексов, а фигуративные точки песчаников зиньковских слоев попадают в поле океанических островодужных комплексов [5].

Для восстановления химического состава исходного вулканогенного материала была применена TAS-диаграмма (Total Alkali-Silica diagram) [7]. Она является графическим изображением петрохимической классификации эффузивных пород, построенной в координатах $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (рис. 2).

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании минералогического, петрографического, геохимического и ряда других методов исследований туфов, туфоаргиллитов и аргиллитов верхнепротерозойских отложений юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы устанавливается, что в бернашевских слоях исходная пирокластическая имела средний состав, тогда как в бронницких слоях — преобладание пирокластической кислого состава. Туфы кислого состава легко подвергались процессам так называемой сольфатарной аргиллитизации, т.е. изменения шли за счет газовых эманаций. В результате по туфам кислого состава образовывался каолинит, кремнистые минералы, гидрослюда. Однако среди очагов кислого вулканизма в бронницкое время были очагами, поставившие в бассейн осадконакопления пирокластическую среднего состава. В зиньковское время преобладающим становится вулканогенный материал основного с примесью среднего состава, а также ранее отложенного пеплового материала и незрелых в петрографическом и петрохимическом отношении отложений. Пересчет химических анализов в генетические модули дал

возможность выявить камуфлированную пирокластическую в аргиллитах не определяющуюся визуально, а также установить ее генезис.

Дополнительным подтверждением различия вулканогенной природы в бронницких и зиньковских слоях может быть отношение редкоземельных элементов La_N/Yb_N со средней величиной $(10,0 \pm 0,1)$ в бронницких, что намного выше, чем в зиньковских слоях [2]. Значения отношений $\text{La}_N/\text{Yb}_N < 4$ позволяют предположить существенную роль в источниках сноса магматических пород основного состава, тогда как при величине $\text{La}_N/\text{Yb}_N > 8$ можно сделать вывод о преобладании в областях питания кислых магматических образований [10].

1. Великанов В.А. Стратиграфия верхнедокембрийских и кембрийских отложений запада Восточно-Европейской платформы / В.А. Великанов // Вестн. Подольска. — М., Наука — 1979. — С. 131–151.
2. Иридиевая аномалия на рубеже вымирания эдиакарской фауны / С.Б. Фелицын, А.В. Сочава, П.А. Ваганов [и др.] // Докл. АН СССР. — 1989. — Т. 308. — № 5. — С. 1200–1203.
3. Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы / А.В. Копелиович // Тр. ГИН. — 1965. — Вып. 121. — С. 310.
4. Коренчук Л.В. Этапы формирования вендских отложений юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Л.В. Коренчук // Стратиграфия и формации докембрия Украины: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка. — 1983. — С. 124–147.
5. Сокур Т.М. Петрохимическая характеристика и геодинамическая обстановка формирования песчаников верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Т.М. Сокур // Геол. журнал. — 2008. — № 1. — С. 63–71.
6. Юдович Я.Э. Основы литохимии. / Я. Юдович, М. Кетрис. — СПб.: Наука, 2000. — 479 с.
7. Le Maitre R.W. (editor), Streckeisen A., Zanettin B. et al. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press. — 2002. — 236 pp.
8. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites: Nature. — 1982. — V. 299. — P. 715–717.
9. Roser B. D., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio // J. Geol. — 1986. — V. 94. — № 5. — P. 635.
10. Wronkiewicz, D.J. and Condie, K.C., Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: Craton evolution during the Early Proterozoic // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1990. — V. 54. — P. 343–354.

Институт геологических наук НАН Украины, Киев