

УДК 552.513:(551.72+551.73.2)(292.484)

Т.М. Сокур

ПСАММИТЫ ВЕРХНЕГО ВЕНДА И НИЖНЕГО КЕМБРИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

T.M. Sokur

THE PSAMMITES OF THE UPPER VENDIAN AND THE LOWER CAMBRIAN ON THE SOUTH-WESTERN SLOPE OF THE EAST-EUROPEAN PLATFORM: LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES

Целью исследований является определение генетической природы песчаников в пределах юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы для установления их фациальной принадлежности, состава источников сноса, степень химического выветривания, рециклинга для реконструкции палеогеографических и палеогеодинамических обстановок.

Химический состав песчаников был пересчитан в петрохимические модули (железный модуль (ЖМ), титановый модуль (ТМ), фемический модуль (ФМ), алюмокремниевый модуль (АМ)), а также индексы выветривания (CIA), (CIW), индекс степени преобразования плагиоклазов (PIA) и другие.

Судя по значениям CIA, данные песчаники сформировались в условиях гумидного климата с постоянным увеличением интенсивности выветривания. Для реконструкции условий осадконакопления терригенных отложений применена дискриминационная диаграмма Б.П. Розера и Р.Дж. Корша. Установлено, что песчаники, которые поступали в бассейн осадконакопления формировались в условиях как в пассивных так и активных континентальных окраин.

Ключевые слова: песчаники, геохимия, петрохимия, верхний венд, нижний кембрий, Восточно-Европейская платформа.

The aim of the research is to determine the genetic nature of sandstone in the is the south-western suburbs of the East European platform for establishing their facies, the sources of the demolition, recycling, chemical weathering degree for the reconstruction of the paleogeographic and paleogeodynamic environments.

Chemical composition of sandstone was converted into petrochemical modulus (iron modulus (IM), titanium modulus (TM), femic modulus (FM), relationship alkaline modulus (AM), and chemical index of alteration (CIA), the chemical index of weathering (CIW), plagioclase index of alteration (PIA) and others.

For the reconstruction of depositional conditions of terrigenous sediments applied discrimination diagrams Roser and Korsch. The sandstones were formed in conditions both passive and active of continental margins.

Key words: sandstones, geochemistry, petrochemistry, the Upper Vendian, the Lower Cambrian, the East-European platform.

ВВЕДЕНИЕ

Разрез верхневендских отложений юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы (Днепровский перикратонный прогиб), отличающийся исключительно благоприятными условиями обнаженности, стратиграфической полнотой, широким распространением в нем различных органических остатков, несмотря на высокую степень геологической изученности, продолжает вызывать научный интерес. Это касается вопросов, связанных со значительными событиями, такими как перестройка структурного плана бассейна осадконакопления, типы седиментации и т.д., которые остаются недостаточно исследованными или дискуссионными. Особый интерес вызывают псаммиты. Песчаники представлены в отложениях всех геологических возрастов, от наиболее древних до самых молодых, и во всех структурных зонах континентов – платформенных, геосинклинальных и орогенных.

Песчаники более, чем любой тип осадочных пород, сохраняют в своем минеральном составе признаки исходных материнских по-

род. Используя методы, основанные на принципе сохранения основных особенностей вещественного состава осадков в процессе литогенеза, были получены данные которые положены в основу реконструкции петрографического состава питающих провинций и ряда других особенностей псаммитов верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы, а также дана сравнительная характеристика некоторых вендских молассовых структур.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Песчаники являются одними из наиболее распространенных пород в разрезе венда рассматриваемой территории и составляют в среднем 25% объема, колеблясь от 40 до 20% в зависимости от типа разреза.

К верхнему венду исследуемого района относятся могилев-подольская и каниловская серии. Могилев-подольская серия состоит из трех свит – могилевской, ярышевской и нагорянской. В могилевской свите выделяются ольчедаевские,

ломозовские, ямпольские и лядовские слои. Ярышевская свита подразделяется на бернашевские, бронницкие и зиньковские слои. Нагорянская свита подразделяется на джуржевские и калюсские слои. Каниловская серия залегает на могилев-подольской со структурным несогласием и объединяет четыре свиты – даниловскую (пилиповские, шебутинецкие слои), жарновскую (кулешовские, староушицкие слои), крушановскую (кривчанские, дурняковские слои), студеницкую (поливановские, комаровские слои) (Стратиграфия..., 1972).

Петрохимическая характеристика псаммитов приведена с учетом классификации и литохимических приемов Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (Юдович, Кетрис, 2000), геохимической классификации Herron M.M. (Herron, 1988) для терригенных пород, в основе которой заложен геохимический критерий, отражающий содержание кварца, глинистых минералов и полевых шпатов, тем самым диаграмма позволяет разделить осадочные породы по зрелости.

Для оценки степени химического выветривания породных литотипов были использованы индекс химического выветривания ($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + NaO + K_2O)] \times 100$) (Nesbitt, Young, 1982), индекс выветривания ($CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + NaO)] \times 100$) (Harnois, 1988), индекс степени преобразования плагиоклазов ($PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] \times 100$) (Fedo S.M. et al, 1995), индекс зрелости осадков ($ICV = [(Fe_2O_3 + CaO + NaO + K_2O + MgO + TiO_2) / Al_2O_3]$) (Cox, Lowe, 1995). В этих индексах мобильными элементами являются Ca, Na и K, а немобильным — Al. Считается, что при химическом выветривании горные породы теряют мобильные элементы, причем, чем выше степень выветривания, тем меньше в них остается мобильных элементов и выше значения приведенных индексов. Как правило, химическое выветривание проходит более интенсивно при теплом и влажном климате, поэтому эти индексы зачастую используют как климатические индикаторы. Для реконструкции условий осадконакопления терригенных отложений применена дискриминационная диаграмма Б.П. Розера и Р.Дж. Корша (Roser, Korsch, 1986).

Для идентификации геодинамических обстановок накопления осадков были использованы дискриминационные факторы (F1, F2, F3, F4), в состав которых входит большинство петрогенных оксидов (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отложения могилев-подольской и каниловской серий Днестровского перикратона, окаймленного с востока внутриплатформенной областью сноса Украинского щита, а с юго-запада тектонически активной зоной байкалид Добруджи, Ю.Р. Беккер (Беккер, 1988) относит к нескладчатым молассовым образованиям.

Изучение псаммитов докембрия и кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы, восстановление их первичного состава и условий образования имеет большое значение для палеогеографических реконструкций и выяснения закономерностей и особенностей осадконакопления. Состав песчаников свит могилев-подольской серии близок между собой. Снизу вверх по разрезу он изменяется от полевошпатовых до экстракварцевых, причем изменение имеет не линейный, а возвратно-поступательный характер - в пределах каждой свиты состав также изменяется от преимущественно полевошпатовых или кварц-полевошпатовых к существенно кварцевым.

Песчаники всех свит каниловской серии близки между собой по составу и его изменение имеет такой же возвратно-поступательный характер, как и в породах могилев-подольской серии. Состав песчаников каниловской серии изменяется от литокластического до экстракварцевого. Более детальная характеристика песчаников рассматривается в работе (Сокур, 2008).

Медианная величина SiO_2 осадочных образований венда Днестровского перикратонного прогиба составляет $77,96 \pm 4,91\%$. Содержание Al_2O_3 варьирует от 6,7 до 13,09%. Медианные содержания CaO – 0,19-6,79 и MgO – 0,20-1,88%. Содержания K_2O и Na_2O составляют 1,29-2,67 и 0,94-2,75% соответственно. Значение ГМ колеблется в значительных пределах – 0,026-0,879 (табл. 1).

Балтийская серия кембрия залегает исключительно на породах каниловской серии. Нижняя граница балтийской серии в большинстве разрезов достаточно четкая и совпадает с подошвой пачки глауконито-кварцевых песчаников, которые залегают в их основании (Стратиграфия..., 1972). Однако в некоторых скважинах и в некоторых обнажениях эта граница имеет характер постепенного перехода и теряет свою четкость, и при ее пересечении изменяются только структуры и текстуры пород. В составе балтийской серии в районе Подольского выступа выделяют окунец-

кую, хмельницкую и збручскую свиты, в Волынской части западного склона Украинского щита – ровенскую и стоходскую свиты.

Песчаники балтийской серии кембрия зеленовато- и светло-серые, горизонтально- и косослоистые, в основной массе средне- и крупнозернистые; в нижней части песчаники иногда грубозернистые, в основании переходят в гравелиты. Основной минеральный состав песчаников: кварц, полевые шпаты, глауконит и слюды. Среди минералов тяжелой фракции преобладают пирит и циркон. В отдельных пробах много карбонатов, лейкоксена с ильменитом и турмалина, встречается анатаз, гранат, магнетит и некоторые другие минералы.

Песчаники бережковской серии (средний отдел системы) светло-серые, почти белые, иногда с розоватым или зеленоватым оттенком, преиму-

щественно среднезернистые, кварцевые, реже полевошпатово-кварцевые, в отдельных прослоях слабо известковистые, так же характеризуются турмалиново-цирконовой ассоциацией минералов тяжелой фракции.

Медианная величина SiO_2 осадочных образований кембрия Днестровского перикратонного прогиба в частности для хмельницкой и стоходской свит составляет 71,87 и 70,48% соответственно. Среднее содержание Al_2O_3 составляет 5,40 для первой и 7,38% для второй свит. Медианные содержания CaO для обеих свит одинаково и составляет $7,80 \pm 0,7$ и $MgO - 0,69 \pm 0,05\%$. Средние содержания K_2O и Na_2O составляют 0,46 для хмельницкой свиты и 0,80% стоходской свиты. Значение ГМ колеблется в одинаковых пределах (табл. 1).

Таблица 1. Модульные значения для верхневендских и нижнекембрийских псаммитов юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы

Table 1. The petrochemical modulus for the psammites of the Upper Vendian and the Lower Cambrian on the southwestern slope of the East-European platform

| МОДУЛИ | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | ГМ | АМ | ТМ | ЖМ | НКМ | ЩМ | ФМ |
| КЕМБРИЙ | | | | | | | |
| Бережковская серия (5) | 0,009-0,023 | 0,0006-0,02 | 0,048-1,333 | 0,376-8,071 | 0,277-9,167 | 0,098-0,279 | 0,006-0,012 |
| Балтийская серия | | | | | | | |
| Свита | | | | | | | |
| Стоходская (7) | 0,036-0,277 | 0,023-0,195 | 0,039-0,111 | 0,163-0,535 | 0,304-0,458 | 0,062-0,796 | 0,014-0,127 |
| Хмельницкая свита (11) | 0,043-0,283 | 0,023-0,199 | 0,049-0,176 | 0,055-1,442 | 0,184-0,592 | 0,163-1,044 | 0,004-0,094 |
| ВЕНД | | | | | | | |
| Каниловская серия | | | | | | | |
| Свита | | | | | | | |
| Студеницкая (9) | 0,059-0,19 | 0,046-0,182 | 0,046-0,092 | 0,043-0,634 | 0,256-0,48 | 0,095-1,089 | 0,008-0,045 |
| Крушановская (15) | 0,103-0,234 | 0,079-0,176 | 0,022-0,09 | 0,045-0,49 | 0,328-0,466 | 0,654-1,528 | 0,008-0,085 |
| Жарновская (7) | 0,112-0,214 | 0,086-0,171 | 0,033-0,064 | 0,044-0,424 | 0,281-0,489 | 0,438-1,51 | 0,007-0,085 |
| Даниловская (5) | 0,11-0,234 | 0,086-0,178 | 0,036-0,064 | 0,313-0,472 | 0,265-0,323 | 0,63-0,819 | 0,03-0,091 |
| Могилев-подольская серия | | | | | | | |
| Нагорянская свита | | | | | | | |
| Слои | | | | | | | |
| Калюские (2) | 0,064-0,195 | 0,063-0,185 | 0,021-0,057 | 0,009-0,099 | 0,262-0,306 | 0,123-0,25 | 0,003-0,035 |
| Джуржевские (21) | 0,049-0,545 | 0,025-0,373 | 0,005-0,084 | 0,008-0,535 | 0,067-0,619 | 0,118-2,999 | 0,001-0,142 |
| Ярышевская свита | | | | | | | |
| Слои | | | | | | | |
| Зиньковские (2) | 0,352-0,544 | 0,296-0,349 | 0,065-0,191 | 0,104-0,532 | 0,225-0,336 | 0,185-0,435 | 0,043-0,2 |
| Бронницкие не анализировались в связи с отсутствием песчаников | | | | | | | |
| Бернашевские (18) | 0,035-0,401 | 0,035-0,325 | 0,006-0,063 | 0,004-0,776 | 0,299-0,668 | 0,204-0,852 | 0,001-0,115 |
| Могилевская свита | | | | | | | |
| Слои | | | | | | | |
| Лядовские (4) | 0,163-0,612 | 0,108-0,469 | 0,026-0,056 | 0,198-0,538 | 0,273-0,561 | 0,129-0,528 | 0,06-0,167 |
| Ямпольские (39) | 0,026-0,319 | 0,029-0,262 | 0,004-0,049 | 0,006-0,725 | 0,164-1,351 | 0,122-0,717 | 0,0003-0,12 |
| Ломозовские (12) | 0,134-0,571 | 0,106-0,411 | 0,018-0,047 | 0,098-0,441 | 0,261-0,657 | 0,248-1,018 | 0,014-0,19 |
| Ольчедаевские слои (27) | 0,052-0,879 | 0,052-0,289 | 0,006-0,099 | 0,008-0,809 | 0,256-0,783 | 0,114-1,219 | 0,002-0,443 |

Для исследования геохимических особенностей песчаников использовался ряд петрохимических модулей, характеризующие особенности условий осадконакопления и дифференциацию материала (Юдович, Кетрис, 2000). Был проанализирован массив из 184 химических силикатных анализов псаммитов из коллекции автора, а также А.В. Сочавы и Л.В. Коренчук (банк литохимических данных Precsed, ИГД РАН), полученных при обработке образцов отобранных из всех структурных единиц стратотипических разрезов верхнего венда и нижнего кембрия Днестровского перикратонного прогиба (табл. 1).

Гидролизатный модуль, как показатель двух важнейших гипергенных процессов – выщелачивания и гидролиза ($GM = (TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$), для средних значений показателей песчаников ломозовских, лядовских и зиньковских слоев могилев-подольской серии показывают максимальные значения GM, что согласно модульной диаграмме GM–FM–TM–HKM по классификации (Юдович, Кетрис, 2000) (рис. 1) аттестуются как сиалиты. Все остальные псаммиты слоев могилев-подольской и каниловской серий так и псаммиты кембрия аттестуются как силиты, что свидетельствует о более низкой переработке материала в процессе переноса от источника сноса до момента захоронения.

Алюмокремниевый модуль ($AM = Al_2O_3 / SiO_2$) используется в качестве показателя интенсивности процессов осадочной дифференциации вещества. Величина модулей Al_2O_3 / SiO_2 и Al_2O_3 / Na_2O по мере выветривания должна расти, и, следовательно, числовые значения этих модулей могут служить мерой «химической зрелости» осадка. Уменьшение снизу вверх по разрезу химической зрелости вещества почти в два раза свидетельствует о поступлении в бассейн осадконакопления не «зрелой» кластики. Наименьшую дифференциацию вещества показывают песчаники бережковской серии кембрия.

Тектонический режим формирования осадков верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы (Днестровский перикратонный прогиб) изучался с использованием ряда диаграмм (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986).

На классификационной диаграмме усредненные данные химических анализов по слоям, свитам и в целом по могилев-подольской серии показали следующую картину. В зону океанических островодужных комплексов (OIA) попали ряд фигуративных точек отвечающие средним значениям

ломозовских, лядовских, джуржевских и все точки зиньковских слоев. Эти отложения характеризуются также высокими значениями $Fe_2O_3 + MgO\%$, $TiO_2\%$, Al_2O_3 / SiO_2 . Следует отметить, что ломозовские и джуржевские слои попадают также и в область активных континентальных окраин (АСМ). Это, вероятно, связано с месторасположением скважины и глубиной отбора проб, что свидетельствует о различных условиях образования, специфике рельефа и дифференциации отложений.

Базальные отложения могилев-подольской серии формировались при участии продуктов разрушения кислых изверженных и вулканических пород. Большой разброс значений модулей косвенно говорит о быстром поступлении и захоронении в бассейне значительных количеств сравнительно пестрой по петрохимическому составу и свежей кластики, которая ассоциирует с вулканитами от основного до кислого состава.

На диаграмме М. Хиррона точки состава песчаников каниловской серии сосредоточены в полях вакк, аркозов и литаренитов. На диаграмме $SiO_2 - K_2O / Na_2O$ они образуют область, занимающую часть полей составов песчаников как активных, так и пассивных континентальных окраин. Примерно так же они расположены на диаграммах F1–F2 и $(Fe_2 + MgO) - Al_2O_3 / SiO_2$, хотя на другой диаграмме М. Бхатия – $(Fe_2 + MgO) - TiO_2$ – область составов песчаников каниловской серии охватывает три классификационных поля – PM (пассивных континентальных окраин), АСМ и CIA (континентальных островодужных комплексов). Основываясь на положении фигуративных точек состава песчаников на диаграмме F3–F4, можно предполагать, что области сноса во время накопления отложений каниловской серии были сложены в основном изверженными породами среднего и кислого состава и осадочными образованиями.

Анализ петрохимических характеристик песчаников верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы позволил установить, что они накапливались при тектоническом режиме, сходном с режимом формирования песчаников венда западного склона Южного Урала (Сокур, 2008).

Для оценки степени химического выветривания псаммитов был использован индекс интенсивности химического выветривания CIA – процесс в течение химического выветривания при которой происходит дегградация полевых шпатов и формирование глинистых минералов (табл. 2). Показатели CIA в пределах величин 46–52 ед. указывает на

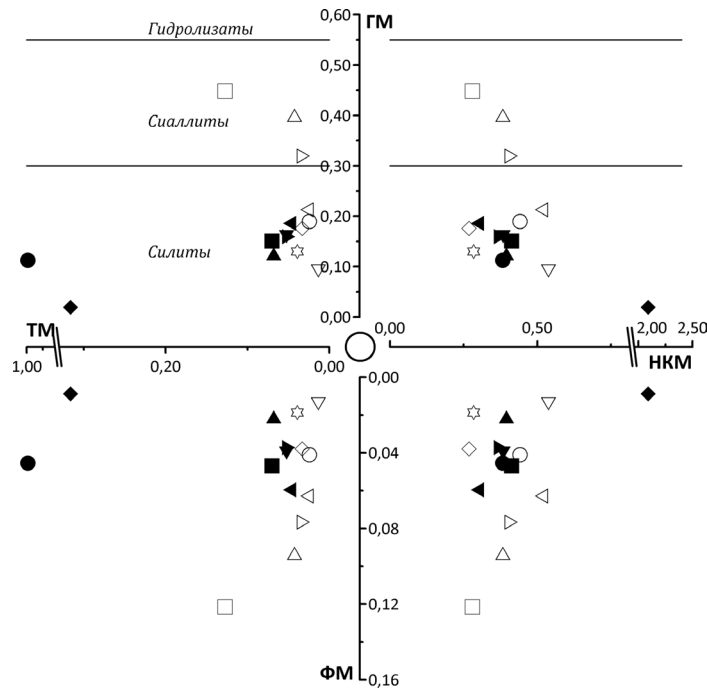


Рис. 1. Сводная модульная диаграмма ГМ-ФМ-ТМ-НКМ (Юдович, Кетрис, 2000) для песчаников верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы.

Кембрий: ◆ - бережковская серия; балтийская серия: ■ - стоходская свита, ● - хмельницкая свита.

Венд: каниловская серия: ▲ - студеницкая свита, ▼ - крушановская свита, ► - жарновская свита, ◄ - даниловская свита; могилев-подольская серия: нагорьянская свита: ☆ - калюские слои, ◇ - джуржевские слои; ярышевская свита: □ - зиньковские слои, ○ - бернашевские слои; могилевская свита: △ - лядовские слои, ▽ - ямпольские слои, ▷ - ломозовские слои, ◁ - ольчедаевские слои.

Fig. 1. The petrochemical modulus diagram (Юдович, Кетрис, 2000) for the psammities of the Upper Vendian and the Lower Cambrian on the south-western slope of the East-European platform.

Cambrian: ◆ - Berezhkovian series; Baltic series: ■ - Stokhodian suite, ● - Khmel'niska suite.

Vendian: Kanilovka suite: ▲ - студеницкая suite, ▼ - Crushanovka suite, ► - Zharnovka suite, ◄ - Danilovka suite; Mogilyov-Podolska series: Nagoryan suite: ☆ - Kalyus layers, ◇ - Dzhurzhevka layers; Yarishev suite: □ - Zinkov layers, ○ - Bernashevka layers; Mogilyov suite: △ - Lyadova layers, ▽ - Yampol layers, ▷ - Lomozov layers, ◁ - Olchedaev layers.

очень низкую степень химического выветривания породного ансамбля в источниках сноса процессами химического выветривания, что свойственно как ариднему, так и нивальному климату; 60 ед., 79-86 ед. и в сочетании с значениями $ICV > 1$ свидетельствует о поступлении в область седиментации незрелого эродированного материала продукта эрозии пород гранитоидного состава.

Высокие значения индекса степени преобразования плагиоклазов PIA однозначно указывают на гумидные обстановки осадконакопления.

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПСАММИТОВ НЕКОТОРЫХ ВЕРХНЕВЕНДСКИХ ОРОГЕННЫХ БАССЕЙНОВ

К верхневендским молассоидным формациям Беккер Ю.Р. (Беккер, 1988) также относит и отложения Московской синеклизы, Мезенской и Шкапово-Шиханской впадин.

Московская синеклиза (включая Мезенскую впадину) занимает огромную территорию от Воронежской антиклины на юге до Тимана на севере, от Балтийского щита и Белорусского-Литовского выступа на западе до Волго-Камского массива на востоке. Шкапово-Шиханская впадина находится на востоке Восточно-Европейской платформы и отделена от Московской синеклизы обширным Волго-Камским массивом кристаллического фундамента.

Верхневендские отложения Московской синеклизы составляют нижне- и верхнемолассоидную формации. Нижнемолассоидная песчано-алеврито-глинистая формация включает плетневскую, усть-пиневскую и любимскую свиты. В ее нижней части развиты алевролиты, песчаники и конгломераты. Выше залегает туфоалевролит-аргиллитовая толща, объединяющая как пестроцветные, так и темноокрашенные аргиллиты с пакетами и пачками алевролитов

и несколькими вулканокластоосадочными горизонтами. Верхняя часть формации представлена ритмичным чередованием темных зеленовато-серых и пестроцветных пачек алевролитов и аргиллитов, а также песчаников и алевролитов. Верхнемолаассоидная формация сложена пестроцветными аргиллито-алевролито-песчаными пачками, а также пластами и линзами полимиктовых, полевошпат-кварцевых и реже кварцевых песчаников, и соответствует решминской свите. Характеристика литологического и химического состава песчаников верхнего венда Московской синеклизы приводится ниже по данным исследования кернa скв. Гаврилов Ям (материалы из банка данных PrecSed", ИГГД РАН) (Маслов В.А и др., 2013).

Медианная величина SiO_2 осадочных образований венда, вскрытых скв. Гаврилов Ям, составляет $78,7 \pm 8,3\%$, что лишь немногим меньше, чем в псаммитах этого же возраста Мезенской впадины, а с учетом величин стандартных отклонений

оба параметра статистически неотличимы. Содержание Al_2O_3 варьирует от 3,7 до 11,7%, а значения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ изменяются от 0,04 до 0,28. Медианные содержания CaO и MgO сопоставимы с содержаниями их в среднем протерозойском кратонном песчанике, максимальное же содержание CaO в одном из образцов достигает почти 13,0%. Содержания K_2O и Na_2O статистически не различимы. Величина $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}_{\text{медиана}}$ составляет $1,13 \pm 0,77$, при этом минимальное и максимальное значения данного отношения различаются более чем на 2 порядка. Значение $\text{GM}_{\text{медиана}}$ относительно небольшое ($0,13 \pm 0,10$).

На диаграмме М. Хиррона точки составов рассматриваемых песчаников попадают преимущественно в поля вакк, литаренитов и сублитаренитов, аркозов и субаркозов, а также Fe-песчаников и кварцаренитов. На диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ образуемая ими область ориентирована субпараллельно границам классификационных полей и почти полностью соответствует

Таблица 2. Пороговые значения индексов CIA, CIW, PIA, ICV для верхневендских и нижнекембрийских псаммитов юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы

Table 2. The CIA, CIW, PIA, ICV indexes for the psammites of the Upper Vendian and the Lower Cambrian on the southwestern slope of the East-European platform

| | CIA | CIW | PIA | ICV |
|--|-------------|-------------|-------------|-----------|
| КЕМБРИЙ | | | | |
| Серия | | | | |
| Бережковская (5) | 8,33-76,28 | 20,68-93,67 | 83,67-91,80 | 0,39-0,52 |
| Балтийская | | | | |
| Свита | | | | |
| Стоходская (7) | 22,72-75,60 | 23,91-68,78 | 19,73-95,21 | 0,10-3,77 |
| Хмельницкая (11) | 13,81-77,81 | 6,34-91,86 | 5,29-87,89 | 0,42-6,63 |
| ВЕНД | | | | |
| Каниловская серия | | | | |
| Свита | | | | |
| Студеницкая (9) | 32,87-79,19 | 35,19-92,49 | 30,28-90,48 | 0,43-1,61 |
| Крушановская (15) | 44,59-72,70 | 48,58-85,13 | 43,52-82,15 | 0,52-1,32 |
| Жарновская (7) | 23,26-74,38 | 24,31-89,58 | 20,74-86,91 | 0,46-3,64 |
| Даниловская (5) | 70,81-77,73 | 80,40-88,80 | 77,34-86,94 | 0,13-0,73 |
| Могилев-подольская серия | | | | |
| Нагорянская свита | | | | |
| Слои | | | | |
| Калюсские (2) | 33,47-61,38 | 36,46-71,64 | 30,23-65,95 | 0,65-2,14 |
| Джуржевские (21) | 17,52-84,46 | 17,65-96,75 | 17,01-96,07 | 0,21-4,76 |
| Ярышевская свита | | | | |
| Слои | | | | |
| Зиньковские (2) | 45,37-77,69 | 50,77-91,11 | 44,13-89,25 | 0,62-1,51 |
| Бронницкие не анализировались в связи с отсутствием песчаников | | | | |
| Бернашевские (18) | 48,97-74,87 | 64,90-93,01 | 47,98-89,17 | 0,40-1,06 |
| Могилевская свита | | | | |
| Слои | | | | |
| Лядовские (4) | 63,56-78,10 | 64,90-93,01 | 77,20-95,06 | 0,44-1,05 |
| Ямпольские (39) | 23,26-82,33 | 26,38-90,82 | 14,98-89,22 | 0,23-3,36 |
| Ломозовские (12) | 48,90-76,95 | 63,68-94,37 | 47,95-92,72 | 0,13-1,20 |
| Ольчедаевские (27) | 52,70-79,60 | 67,60-95,58 | 54,81-94,07 | 0,49-2,15 |

полю АСМ. Напротив, на диаграммах М. Бхатиа область песчаников охватывает как поле РМ, так и поля С1А и АСМ.

По значениям F1 и F2 псаммиты скв. Гаврилов Ям не отличаются от псаммитов большинства других нескладчатых моласс венда (области их составов имеют почти 90%-ное перекрытие), и образуемая ими область захватывает как поле РМ, так и поле АСМ. Значительное перекрытие областей составов песчаников нескладчатой молассы наблюдается и на диаграмме F3–F4.

В северо-западной части Мезенской впадины разрезы нескладчатой верхневендской молассы (лямицкая, верховская, зимнегорская и ергинская свиты) вскрыты многочисленными скважинами в юго-восточном Беломорье (Беломорско-Кулойское плато) и доступны для изучения на побережье Белого моря. Лямицкая свита объединяет алевролиты и глины, находящиеся в тонком ритмичном переслаивании, и серые песчаники.

Верховская свита сложена в нижней части пятнистыми тонкослоистыми глинами и пакетами переслаивания алевролитов и зеленовато-серых глин, а в верхней – тонкослоистыми светло-серыми с фиолетовым оттенком алевролитами и зеленовато-серыми песчаниками. Зимнегорская свита представлена преимущественно тонкослоистыми серыми с фиолетовым оттенком алевролитами, среди которых присутствуют маломощные прослои косоволнистослоистых песчаников. Ергинская свита сложена пакетами переслаивания пестроцветных песчаников, алевролитов и глин.

Для песчаников нескладчатой молассы Мезенской впадины медианное содержание SiO_2 составляет $(82,1 \pm 6,4\%)$. Содержания Al_2O_3 в псаммитах варьируют от 0,6 до 11,7%, а медианное значение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ составляет $0,11 \pm 0,03$. Медианные содержания CaO и MgO (соответственно, $0,3 \pm 1,9$ и $0,9 \pm 0,7\%$) в песчаниках в определенной мере сопоставимы с содержаниями названных оксидов в среднем протерозойском кратонном песчанике (0,45 и 0,55%) (Condie, 1993). Содержания K_2O выше, чем Na_2O . Медианное значение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ составляет $\sim 3,0 \pm 5,0$, а максимальное ~ 22 . Значения ГМ варьируют от 0,06 до 0,28. Значения индекса химического выветривания ($\text{CIA}_{\text{медиана}}$) относительно невелико и составляет 61 ± 10 .

В соответствии с классификационной диаграммой М. Хиррона, входящие в состав нескладчатой молассы Мезенской впадины песчаники принадлежат ваккам, аркозам, субаркозам, литаренитам и сублитаренитам, а также Fe-песчаникам. На ди-

аграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ песчаники венда Мезенской впадины локализованы преимущественно в поле РМ. Примерно такое же положение занимают они на диаграммах $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})\text{--Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})\text{--TiO}_2$ и F1–F2, однако здесь часть точек попадает также в поле АСМ. Источниками же кластики для них служили, по всей видимости, как осадочные породы, так и широкий спектр магматических образований.

В Шкапово-Шиханской впадине верхневендские отложения представлены байкибашевской и старопетровской (каировская подсерия), а также салиховской и карлинской свитами (шкаповская подсерия), в составе которых заметную роль играют кварц-полевошпатовые, полевошпатоварцевые и лититовые песчаники.

По представлениям Ю.Р. Беккера (Беккер, 1988), каировская подсерия отвечает нижнемолассоидной, а шкаповская – верхнемолассоидной формациям. Содержания SiO_2 в псаммитах верхнего венда Шкапово-Шиханской впадины составляют 65,03–88,00 и $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{общ}}$ – 1,88–7,00. Величина Al_2O_3 – 5,87–17,36. Содержания Na_2O и K_2O – 0,90–4,40 и 0,62–4,31 соответственно и заметно выше, чем в псаммитах верхнего венда Южного Урала, что в какой-то мере подтверждает мнение А.В. Сочавы о преимущественном сносе кластики во впадину с платформы; это же свойственно и медианным содержаниям указанных оксидов. Величина отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}_{\text{медиана}}$ составляет $\sim 0,77$. Значения ГМ в песчаниках варьируют от 0,10 до 0,37. Значения индекса химического выветривания ($\text{CIA}_{\text{медиана}}$) составляет 60 ± 4 (минимум – 51, максимум – 71).

На диаграмме М. Хиррона точки составов псаммитов верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины локализованы в основном в полях вакк, литаренитов и сублитаренитов.

На диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ они расположены как в области пассивных, так и активных континентальных окраин; примерно также распределены точки составов псаммитов на диаграмме F1–F2. В то же время локализация их на диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})\text{--TiO}_2$ позволяет трактовать геодинамические обстановки формирования песчаников несколько иначе, так как основная масса точек сосредоточена здесь в полях АСМ и С1А. Наконец, исходя из присущих песчаникам каировской и шкаповской подсерий значений F3 и F4, можно предполагать, что источниками сноса для них являлись как осадочные образования, так и изверженные породы кислого и среднего состава.

ВЫВОДЫ

Химический состав песчаников могилев-подольской и каниловской серий Днестровского перекратона по многим параметрам достаточно близок к составу песчаников других нескладчатых вендских моласс. Медианная величина ГМ в песчаниках Днестровского перекратона имеет промежуточный характер между значениями этого параметра в псаммитах Московской синеклизы, Мезенской и Шкаповско-Шиханской впадин. Величина индекса выветривания CIA в них, напротив, почти в точности равна значениям химического индекса изменения в псаммитах двух последних структур.

REFERENCES

- Bekker Yu. R., 1988. The molasses of the pre-Cambrian. Leningrad: Nedra, 288 p. (In Russian).
- Maslov A. V., Mizens G.A., Podkovyrov V.N., Gareev E. Z., Sorokin A.A., Smirnova Ya. N., Sokur T.M., 2013. Synorogenic psammities: the foundation feature of lithochemistry. *Lithology and Mineral Resources*, No 1, pp. 70-96. (In Russian)
- Sokur T.M., 2008. Petrochemical characteristics and Geodynamic setting of sandstones of the Upper Vendian the south-western slope of the East-European platform. *Geological Journal*, No 1, pp. 63-71. (In Russian).
- Stratigraphy of the USSR. Vol. 3. Cambrian. Ordovician, 1972. Ed. P.L. Schulga. Kyiv: Naukova Dumka, 227 p. (In Ukrainian).
- Yudovich Ya. E., Ketris M. P., 2000. *The foundation lithochemistry*. St.-Pb., Nauka, 479 p. (In Russian).
- Bhatia M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, vol. 91, pp. 611-627.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol. 92, pp. 181-193.
- Condie K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, vol. 104, pp. 1-37.
- Cox R., Lowe D., 1995. A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *J. Sed. Res.* vol. A65, pp. 1-12.
- Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, vol. 23, pp. 921-924.
- Harnois L., 1988. The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, vol. 55, pp. 20-41.
- Herron M.M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.*, vol. 58, pp. 820-829.
- Беккер Ю. Р. Молассы докембрия / Ю. Р. Беккер. – Л.: Недра, 1988. – 288 с.
- Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии / [А. В. Маслов, Г. А. Мизенс, В. Н. Подковыров и др.]. // *Литология и полезные ископаемые*. – 2013. – №1. – С. 70-96.
- Сокур Т. М. Петрохимическая характеристика и геодинамическая обстановка формирования песчаников верхнего венда юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Т. М. Сокур. // *Геол. журн.* – 2008. – №1. – С. 63-71.
- Стратиграфія УРСР. // Кембрій. Ордовік / – Київ: *Наук. думка*, 1972. – С. 227.
- Юдович Я. Э. Основы литохимии / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – С.-Пб: *Наука*, 2000. – 479 с.
- Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.* 1983. Vol. 91. pp. 611-627.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1986. Vol. 92, pp. 181-193.
- Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.* 1993. Vol. 104, pp. 1-37.
- Cox R., Lowe D. A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *J. Sed. Res.* 1995. Vol. A65, pp. 1-12.
- Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*. 1995. Vol. 23, pp. 921-924.
- Harnois L. The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*. 1988. Vol. 55, pp. 20-41.
- Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.* 1988. Vol. 58, pp. 820-829.

Nesbitt H.W., Young G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, vol. 299, pp. 715-717.

Roser B.D., Korsch R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J.Geol.*, vol. 94. № 5, pp. 635.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна
Sokur.1966@mail.ru

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 1982. V. 299, pp. 715-717.

Roser B.D., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J.Geol.* 1986. Vol. 94. № 5, pp. 635.

Рецензент: М.С. Ковальчук

Т.М. Сокур

ПСАМИТИ ВЕРХНЬОГО ВЕНДУ ТА НИЖНЬОГО КЕМБРИЮ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ОКРАЇНИ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ: ЛІТОЛОГІЧНІ ТА ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ

Метою досліджень є визначення генетичної природи пісковиків у межах південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи для встановлення їхньої фаціальної приналежності, складу джерела зносу, ступінь хімічного вивітрювання, рециклінга для реконструкції палеогеографічних і палеогеодинамічних обстановок. Хімічний склад пісковиків був перерахований у петрохімічні модулі (залізний модуль (ЗМ), титановий модуль (ТМ), фемічний модуль (ФМ), алюмокремнієвий модуль (АМ)), а також індекси вивітрювання (СІА), (СІВ), індекс ступеня перетворення плагіоклазів (РІА) та інші. Судячи зі значень СІА, дані пісковики сформувалися в умовах гумідного клімату з постійним збільшенням інтенсивності вивітрювання. Для реконструкції умов осадконакопичення терригенних відкладів застосована дискримінаційна діаграма Б.П. Розера й Р.Дж. Корша. Установлено, що пісковики, які потрапляли до басейну осадконакопичення, формувалися в умовах як пасивних так і активних континентальних окраїн.

Ключові слова: пісковики, геохімія, петрохімія, верхній венд, нижній кембрій, Східноєвропейська платформа.