

УДК 552.512:551.72(477.63)

**В.В. Покалюк<sup>1</sup>**, канд. геол.-мин. наук, старш. научн. сотр.,  
**В.В. Сукач<sup>2</sup>**, канд. геол. наук, старш. научн. сотр.

1 – Государственное учреждение „Институт геохимии окружающей среды НАН Украины“, г. Киев, Украина,  
 e-mail: pvskan@ukr.net

2 – Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины, г. Киев, Украина,  
 e-mail: svital@ukr.net

## ЛИТОХИМИЯ МЕТАКЛАСТОГЕННЫХ ОСАДКОВ ВЕРХОВ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА В АСПЕКТЕ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ

**V.V. Pokalyuk<sup>1</sup>**, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Research Fellow,  
**V.V. Sukach<sup>2</sup>**, Cand. Sci. (Geol.), Senior Research Fellow

1 – State Institution “Institute of Environmental Geochemistry under National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine,  
 e-mail: pvskan@ukr.net

2 – Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation under National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,  
 e-mail: svital@ukr.net

## LITHOCHEMISTRY OF METACLASTOGENIC SEDIMENTS OF UPPER PALEOPROTEROZOIC OF KRIVOY ROG IRON ORE BASIN ON ASPECTS OF PALEO GEOGRAPHIC AND PALEOTECTONIC CONDITIONS OF FORMATION

**Цель.** Выяснение палеогеографических и палеогеодинамических особенностей седиментогенеза псефо-псаммо-алевритовых парагенезисов глееватской свиты Криворожского железорудного бассейна (КЖБ) на основании литохимических данных. Основные задачи исследований: 1) изучить структуру выборки литохимических данных; 2) реконструировать исходный минеральный состав метаосадочных пород; 3) произвести сопоставление литохимических параметров пород с метаморфизованными аналогами различных климатических и геодинамических зон.

**Методика.** Используются методы многомерной статистики для кластеризации выборки, а также принцип серийного сопоставления с метаморфизованными аналогами по ряду литохимических коэффициентов и диаграмм.

**Результаты.** Установлена принадлежность метаседиментогенных образований глееватской свиты КЖБ к слабо дифференцированной субграувакково-граувакковой псефо-псаммо-алевритовой ассоциации пород, промежуточной по своим петрохимическим параметрам между гумидными и аридными терригенными сериями фанерозоя. Осадконакопление осуществлялось за счет размыва протолитов плагиигранитоидного архейского основания и ранее отложенных осадков палеопротерозойского чехла. Предполагаются тектонически активные, полуаридные, бассейновые условия седиментации.

**Научная новизна.** Определен набор элементарных литохимических кластеров, характеризующих полноту граулометрического и химического спектра метаосадков глееватской свиты. Детализированы литохимические типы метаосадков верхов палеопротерозоя Криворожского железорудного бассейна.

**Практическая значимость.** Исследования способствуют совершенствованию литохимической систематики метаседиментогенных пород Криворожского железорудного бассейна. Установленные литохимические особенности пород могут служить важным корреляционным критерием при региональных сопоставлениях стратифицированных комплексов раннего докембрия Украины и других докембрийских щитов.

**Ключевые слова:** *палеопротерозой, осадочный литогенез, метапесчаники, металевролиты, метаконгломераты, Криворожский железорудный бассейн, литохимические типы осадков*

**Постановка проблемы.** В настоящее время существует множество неоднозначных трактовок палеогеографических и палеотектонических условий седиментогенеза в палеопротерозое Криворожской структуры (геодинамический режим, климат, фациальные условия накопления осадков). Одно из эффективных направлений решения этих вопросов – литохимическое

изучение метаосадочных комплексов, широко используемое в последние годы [1–3].

В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть с серийных позиций литохимию метаморфизованных седиментогенных пород и породных парагенезисов наиболее молодой палеопротерозойской толщи Криворожского железорудного бассейна (КЖБ) – глееватской свиты – с целью уточнить палеогеографические и палеотектонические условия ее формирования.

Стратиграфические и возрастные коррелянты глееватской свиты широко распространены на Украинском

щите и за его пределами (верхи ингуло-ингулецкой и тетеревской серий УЩ, ладожская серия Балтийского щита, оскольская и воронцовская серии Воронежского щита). Поэтому изучение этих пород актуально в аспекте региональных сопоставлений верхов палеопротерозоя на разных щитах.

**Методика.** В основу методического подхода исследований положен принцип сериальности, который заключается в изучении химического состава всей совокупности парагенетически связанных между собой пород, составляющих конкретную осадочную серию. По аналогии с магматическими сериями, осадочные серии также образуют закономерно связанные ассоциации пород, связанные с конкретным источником, сформированные на определенном геотектоническом этапе или цикле в конкретных структурно-тектонических и палеогеографических условиях. Диагностические признаки осадочных серий определяются интенсивностью (диапазоном) механической и химической дифференциации вещества в ходе экзогенных процессов. Сериальный принцип позволяет наглядно сравнивать различные осадочные серии, сформированные в различных геодинамических и географических условиях, восстанавливать степень геодинамической активности региона, параметры климата, фациальные особенности седиментации.

**Объект исследований и состояние геологической изученности.** Различные аспекты изучения (стратиграфия, литология, петрография и т.п.) глееватской свиты Кривбасса и коррелируемых с ней гнейсовых толщ прилегающих районов освещались в работах Г.М. Струевой, Р.И. Ткач, А.П. Никольского, А.Н. Ефимова, Г.И. Каляева, М.Н. Доброхотова, В.А. Кудели, А.М. Снежко, Н.П. Семенов, Ю.Ф. Великанова, В.Н. Вербицкого, Н.С. Курлова, Т.П. Михницкой, И.С. Паранько, Г.М. Яценко и других исследователей.

Глееватская свита сложена, главным образом, метатерригенными породами – метаалевролитами, метаконгломератами, метапесчаниками с редкими маломощными линзами карбонатных пород (мраморизованных доломитов). Метапесчаники и метаалевролиты доминируют в объеме свиты. По структуре и внешнему облику первые соответствуют микрогнейсам, вторые – сланцам. Минеральный состав их довольно однороден – биотит-плагиоклаз-кварцевый, биотит-кварц-плагиоклазовый, кварц-плагиоклаз-биотитовый, плагиоклаз-кварц-биотитовый с небольшим переменным количеством (0–10%), актинолита, карбоната и граната. По соотношению обломочных компонентов метапесчаники и метаалевролиты относятся к кварцевым грауваккам с высоким содержанием полевых шпатов. Метаконгломераты имеют полимиктовый состав галек, среди последних преобладают обломки хемогенных кварцитов (70–80%), в меньших количествах (в сумме 5–20%) присутствуют обломки плагиогранитоидов, тремолитов, доломитовых мраморов, железистых кварцитов, метапесчаников, амфиболитов.

По своей мощности (около 2000 м) глееватская свита сопоставима со всеми остальными свитами Криворожской структуры, вместе взятыми. Образование свиты подстилается без видимого несогласия метатерри-

генно-хемогенными отложениями гданцевской свиты, наиболее характерной чертой которой является парагенезис карбонатных пород (метадоломитов) с метапесчаниками, углистыми метапелитовыми сланцами, а также подчиненными прослоями хемогенных железистых кварцитов и редкими линзами метатальтрабазитов. Глееватская и гданцевская свиты совместно составляют так называемую верхнюю (по старой терминологии) свиту (серию) Кривбасса (наджелезородную, надсаксаганскую). Между гданцевской и глееватской свитами подразумевается существенный перерыв в осадконакоплении, который зафиксирован во многих стратиграфических схемах. Однако, в разрезах этот перерыв нигде конкретно не задокументирован (в виде каких-либо базальных горизонтов или метаморфизованных кор выветривания). Г.И. Каляев считал переход между гданцевской и глееватской свитами постепенным. Также считают геологи криворожской экспедиции [4]. Большинство исследователей относят глееватскую свиту к верхам палеопротерозоя.

Глееватская свита подвержена региональному метаморфизму в зеленосланцевой фации; локально степень метаморфизма повышается до эпидот-амфиболитовой фации с инъецированием жилами аплит-пегматоидных гранитов кировоградского комплекса. Очевидно, что глееватская свита древнее процессов метаморфизма и гранитизации, датированных изотопными методами 1870–2020 млн лет. В последней корреляционной хроностратиграфической схеме докембрия УЩ (2004) [5] глееватская свита вычленена из объема криворожской серии и представлена самостоятельно в качестве наиболее молодой метаосадочной толщи (свиты) Кривбасса, имеющей палеопротерозойский возраст и несогласно залегающей на подстилающих отложениях гданцевской свиты; верхняя возрастная граница глееватской свиты указана на рубеже 2000 млн лет.

Наиболее детально разрез глееватской свиты был изучен при бурении Криворожской сверхглубокой скважины (КСГС) [6]. Одним из важных результатов этих работ явилось установление количественных соотношений между различными парагенетически связанными петротипами в объеме свиты на основе подсчета мощностей прослоев: метаконгломераты – 50, метапесчаники – 18, метаалевролиты – 32, мраморизованные доломиты – 0,25%.

В понимании генезиса и формационной принадлежности пород глееватской свиты нет однозначных представлений. До настоящего времени доминируют взгляды о наземном способе отложения метаконгломератов свиты в подгорных пролювиально-аллювиальных конусах (шлейфах) выноса (то есть типичные континентальные молассы). Широко известно мнение Г.И. Каляева, который на основании большой мощности и грубообломочного состава отложений свиты относил их к молассам и связывал с заключительными орогенными стадиями развития геосинклинального процесса в краевых и внешних зонах геосинклинали Большого Кривого Рога. Это мнение настолько укоренилось в применении к отложениям глееватской свиты, что считается порой аксиоматичным.

Одним из авторов были проведены специальные литологические исследования отложений глееватской свиты в разрезе КСГС (количественные подсчеты параметров слоистости пород, степени окатанности и сортировки галечного материала, гранулометрии песчаного заполнителя метаконгломератов), которые позволили установить бассейновый генезис отложений свиты и обосновать волновую (прибрежно-бассейновую) природу метаконгломератов и вмещающих их метатерригенных осадков [7]. Согласно этим данным, количество и характер конкретных фациальных обстановок определяются существованием двух типов элементарных породных парагенезисов, чередующихся друг с другом в разрезе – существенно метаконгломератовых и существенно сланцевых (метаалевритовых). Конгломераты и псаммиты накапливались в узкой прибрежной зоне, ширина которой оценивается до первых сотен метров. Далее вглубь бассейна отлагались существенно алевритовые осадки.

В формационном отношении использование терминов „молассовые, моласоидные“ в применении к кластогенным отложениям глееватской свиты, на наш взгляд, не вполне корректно в связи с их прибрежно-бассейновым генезисом. Их можно сопоставить с флишовой формацией, судя по граувакковому незрелому составу отложений и тектонически активному бассейновому режиму седиментации.

И.С. Паранько и Г.М. Яценко [9], сравнивая химический состав метапесчаников и сланцев глееватской свиты с составами пород различных климатических поясов, приходят к неоднозначным выводам относительно климатических условий накопления исходных осадков. С одной стороны, они указывают на черты подобия метапесчаников глееватской свиты отложениям умеренно-гумидных зон. С другой стороны, они отмечают, что фигуративные точки сланцев формации распределяются в поле точек усредненных составов морских глин, засоленных лагун, озер аридного климата и континентальных глин холодного и умеренного-холодного климата. Такая неоднозначность, по нашему мнению, может указывать на переходные (промежуточные) условия между умеренно-гумидным и аридным типом литогенеза, на чем подробнее мы остановимся ниже.

**Результаты. Структура литохимических данных.** Нами проведена систематизация и типизация методами иерархического кластерного анализа банка петрохимических данных по выборке 192 полных силикатных химических анализов глееватской свиты. В итоге определены 15 элементарных литохимических кластеров (14 кластогенных и 1 хемогенный), характеризующих облако рассеяния всех фигуративных точек анализов свиты (таблица). Элементарные кластогенные кластеры разделяются между тремя литохимическими группами кластеров (собственно, литохемотипами), которые отражают состав дискретизированных гранулометрических и фациальных литотипов: I – метаконгломератов, II – метаконгломератов и метапесчаников, III – метаалевролитов (преобладают) и метапесчаников.

Общая изменчивость состава всех пород глееватской свиты характеризуется факторными и бинарными

диаграммами переменных (оксидов) и фигуративных точек (рис. 1, 2).

Первый фактор (F1), принявший на себя 41,4% изменчивости, отражает механическую (гранулометрическую) дифференциацию осадков и связан с полярным взаимодействием двух главных оксидов –  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Фактор показывает дифференциацию по кластогенному тренду, к которому относится подавляющее количество (97%) анализов.

Второй фактор (F2) составляет 22,6% общей изменчивости и связан с присутствием в выборке небольшого количества доломитовых мраморов, резко обогащенных  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , П.п.п. Фактор отражает влияние хемогенной карбонатной седиментации и формирует слабо выраженный кластогенно-хемогенный тренд.

Третий фактор (F3) ответственен за 9,3% изменчивости и связан с содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Он обусловлен влиянием терригенной железистой кластики, поступавшей в бассейн за счет размыва ранее отложенных формаций железистых кварцитов саксаганской и гданцевской свит.

Петрохимическая дискретность литохемотипов I, II, III хорошо проявлена на гистограммах распределения значений оксидов, имеющих полимодальный характер (рис. 2). Значения  $\text{Al}_2\text{O}_3$  имеют три моды;  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  – бимодальны.

Характер разрывов между литохемотипами подтверждает существование двух парагенетических ассоциаций, установленных литологически: 1) метаконгломератов и метапесчаников; 2) метаалевролитов с подчиненной ролью метапесчаников. Очевидно, что указанные ассоциации обусловлены существованием двух взаимосвязанных фациальных обстановок.

Наиболее ярко полимодальность проявлена по соотношениям  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Параметры литохемотипов по алюминию и кремнию таковы (%): I – (метаконгломераты) –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2-7$ ,  $\text{SiO}_2 = 70-90$ ; II – (метаконгломераты и метапесчаники) –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6-12$ ,  $\text{SiO}_2 = 65-75$ ; III – (преимущественно метаалевролиты) –  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12-18$ ,  $\text{SiO}_2 = 54-66$ .

Относительно высокие содержания  $\text{SiO}_2$  в метаконгломератах литохемотипа I обусловлены существенно кварцевым составом галек и их высокой сгруженностью. Литохемотип II складывается метаконгломератами и метапесчаниками при некотором преобладании последних. Метаконгломераты здесь отличаются слабой сгруженностью галечного материала, поэтому их состав характеризует особенности преимущественно сланцево-псаммитового матрикса. Таким образом, литохемотип II в целом соответствует псаммитовым породам.

Оксиды титана, железа, магния, калия положительно коррелируются между собой и с алюминием (при переходе от метапесчаников к метаалевролитам содержание этих элементов увеличивается вследствие возрастания количества железо-магнезиальных слюд, в первую очередь биотита). Содержания натрия также увеличиваются от метаконгломератов к метаалевролитам, однако наивысшие значения (3,5–4,5%) его отмечаются в области тонкозернистых метапсаммитов, что объясняется большей концентрацией в них обломочных плагиоклазов, чем в собственно метаалевролитах.

Кальций одномодален, равномерно распределен во всех гранулометрических типах пород в достаточно значительных для метакластитов количествах – в сред-

нем 2–4%. Немногочисленные пробы метаалевропсаммитов, обогащенные кальцием до 10–16%, обнаруживают переходы к метадоломитам.

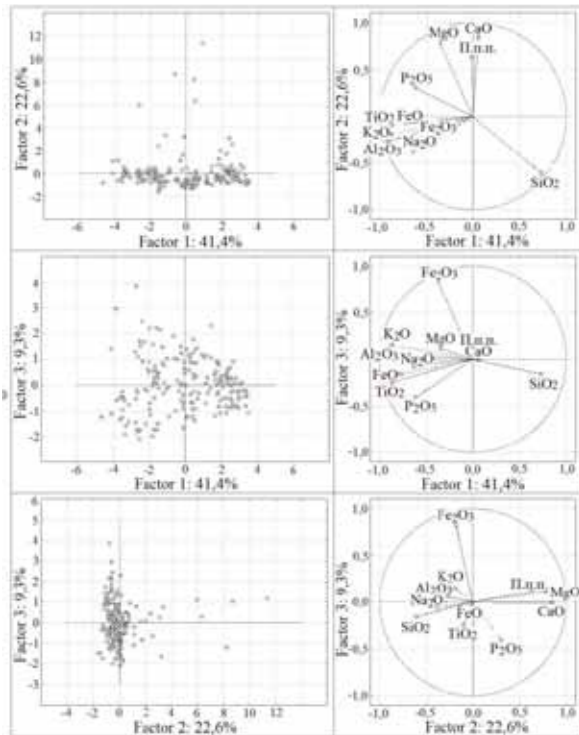


Рис. 1. Проекция переменных (оксидов) и фигуративных точек составов выборки метаосадочных пород глееватской свиты на фактор-планах F1–F2, F1–F3, F2–F3 по одиннадцати компонентам ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , П.п.н.) Выборка 192 анализа

Общее соотношение между литотипами глееватской свиты по выборке 192 проб таково (%): метаконгломераты полимиктовые, существенно кварцитовые – 39; метапесчаники и метапсаммитовые микрогнейсы – 17; метаалевритовые сланцы и микрогнейсы – 42; метадоломиты – 2. Это соотношение достаточно близко к таковому, полученному на основании подсчета мощностей прослоев различных литологических типов пород в разрезе КСГС.

**Литохимические признаки условий седиментации.** На классификационной диаграмме А.Н. Неёлова (рис. 3, а) преобладающая часть метапсаммо-алевритов глееватской свиты попадают в поле II-а – олигомиктовых псаммитолитов слабо карбонатистых (слабо железистых); при этом метаалевролиты, вследствие несколько большей фемичности и глиноземистости, частично располагаются также в поле III-б – граувакковых и полимиктовых песчаников карбонатистых (железистых); средний состав метаалевролитов располагается на границе олигомиктовых и граувакковых псаммитолитов. Подобная картина отмечается и на диаграмме Ф. Петгиджона (рис. 3, б) – метапсаммиты и метаалевролиты в целом располагаются в поле лититов, при этом средний состав последних попадает на приграничную зону граувакк и лититов. Более кор-

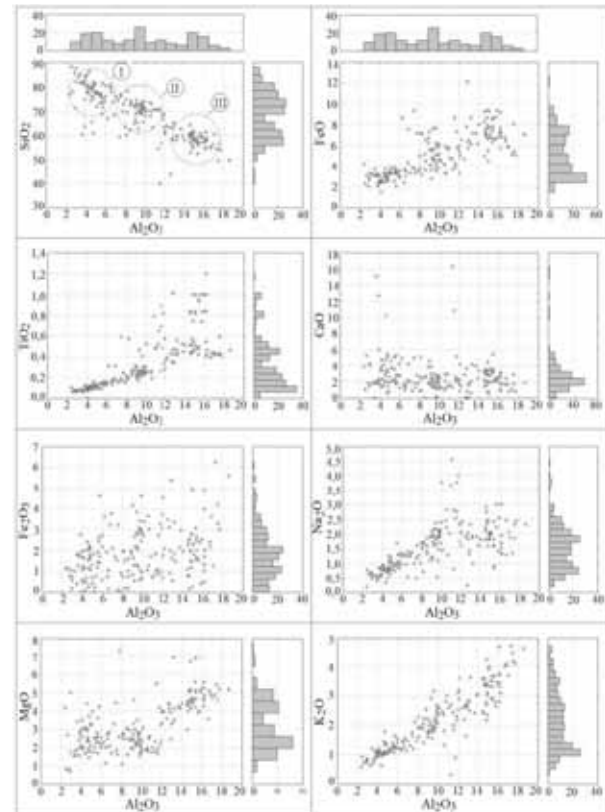


Рис. 2. Бинарные диаграммы кластогенной ассоциации пород глееватской свиты

ректным, на наш взгляд, в отношении наименования пород с учетом их фемичности является расположение точек составов на диаграмме А.А. Предовского (рис. 3, в). По параметру фемичности  $F$  фигуративные точки соответствуют, преимущественно, грауваккам. При этом метаалевролиты тяготеют к границе с мелановакками. По параметру глиноземистости ( $A$ ), отражающему приблизительно общую глинистость пород, метапсаммиты соответствуют мало глинистым, метаалевролиты – глинистым и высоко глинистым породам. Примерно такая же конфигурация выявляется и на диаграмме М. Хиррона (рис. 3, г): преобладающая часть метапсаммо-алевритов и их средний состав располагаются в поле вакк; средний состав метапсаммитов – на границе вакк, лититов и железистых песчаников; средний состав метаалевролитов – в поле глинистых сланцев у границы с вакками. На повышенную фемичность пород по сравнению с лититами оказывает влияние существенная примесь  $\text{MgO}$ , связанная в карбонатах, и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , связанная в тонкой железистой кластике. Таким образом, в целом метапсаммо-алевриты глееватской свиты можно отнести к грауваккам. При этом метапсаммиты, по сравнению с метаалевролитами, менее фемичны и глиноземисты, нередко соответствуют субграуваккам или олигомиктовым псаммитолитам.



Примечание к таблице.

В скобках указано количество проб в составе кластеров.

**1–15 – элементарные кластеры**, характеризующие облако рассеяния фигуративных составов: 1 – мраморы доломитовые; 2–5 – метаконгломераты полимиктовые, существенно кварцитовые (2 – высоко кремнистые, 3 – умеренно кремнистые, карбонатистые, 4 – умеренно-высоко кремнистые, 5 – умеренно кремнистые); 6 – метаконгломераты полимиктовые, слабо сгруженные, карбонатистые; 7 – метапесчаники и микрогнейсы Амф-Би-Пл-Кв, редко метаконгломераты; 8 – метаконгломераты полимиктовые, слабо сгруженные, реже метапесчаники Пл-Кв на Амф-Би цементе; 9 – метапесчаники и микрогнейсы Пл-Кв на Амф-Би цементе, нередко с гранатом, сланцы Акт-Би-Пл-Кв, Акт-Би-Кв-Пл, редко метаконгломераты полимиктовые слабо сгруженные; 10 – сланцы метаалевритовые, метапесчаники, низко гли-ноземистые, сильно карбонатистые; 11 – сланцы Би-Пл-Кв, Би-Кв-Пл, часто с актинолитом и гранатом, глиноземистые; 12 – сланцы и микрогнейсы метаалевритовые Амф-Би-Кв-Пл, карбонатистые; 13 – сланцы метаалевритовые Би-Пл-Кв, Би-Кв-Пл, нередко с актинолитом и гранатом; 14 – сланцы и микрогнейсы Би-Кв-Пл, нередко с амфиболом (Рог, Акт) и гранатом; 15 – сланцы и микрогнейсы Би-Пл-Кв, Би-Кв-Пл, нередко с амфиболом (Рог, Акт) и гранатом, глиноземистые; **16–18 – группы кластеров (собственно, литохемотипы)**: 16 – литохемотип I (кластеры 2–5) – метаконгломераты; 17 – литохемотип II (кластеры 6–9) – преимущественно метапесчаники; 18 – литохемотип III (кластеры 10–15) – преимущественно метаалевролиты; 19 – среднее по метапсаммо-алевритам; 20 – среднее по всем породам свиты. Обозначения минералов: Q – кварц, кремнезем, Pl – плагиоклаз, Or – ортоклаз, Mnt – монтмориллонит, Ill – иллит, Chl – хлорит, Kp – каолинит, Cc – кальцит, Dl – доломит, Ank – анкерит, Sd – сидерит, Srp – серпентин, Ht – гетит. Литохимические коэффициенты: AM – алюмокремниевый модуль –  $Al_2O_3/SiO_2$ ; GM – гидролизатный модуль –  $(TiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3+FeO+MnO)/SiO_2$ ; FM – фемический модуль –  $(Fe_2O_3+FeO+MnO+MgO)/SiO_2$ ; NM – натриевый модуль –  $Na_2O/Al_2O_3$ ; TM – титановый модуль –  $TiO_2/Al_2O_3$ ; HKM =  $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ ; CIA – индекс химического выветривания (Nesbitt, Young, 1982) –  $100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)$ , мол.

Средний состав метапсаммо-алевритовых парагенезисов глееватской свиты (таблица) по содержанию  $SiO_2 = 64,94\%$  близко соответствует средним составам верхней континентальной коры, докембрийских щитов и граувакк разного возраста от архея до кайнозоя [8]. От среднего состава граувакк (Pettijohn) он отличается меньшей глиноземистостью, большей фемичностью, кальциевостью и преобладанием калия над натрием.

Последнее не характерно в целом для граувакк, но часто наблюдается в разновидностях с большим количеством обломков осадочных пород (литокластических граувакках). От архейских и протерозойских вулканокластических граувакк зеленокаменных и островодужных последовательностей [8] метапсаммо-алевриты глееватской свиты заметно отличаются низким содержанием  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $TiO_2$ , и одновременно повышенным содержанием  $Fe_2O_3+FeO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ . По этим признакам они ближе к турбидитам континентальных активизированных областей. Вышеуказанные особенности состава ( $K/Na > 1$ , повышенный Fe–Ca–Mg и пониженный Al–Na–Ti фон этих осадков, по сравнению с граувакками) обусловлены значительной ролью в составе размываемых протолитов, наряду с плагиогранитоидами архея, также и исходно осадочных высоко железистых, карбонатных и алюмосиликатных осадков протерозоя; доля базитов в размываемом петрофонде была относительно небольшой.

Одним из наиболее важных параметров для характеристики кластогенно-терригенных серий и интенсивности выветривания при их формировании является диапазон значений алюмокремниевого модуля, который характеризует степень механической (гранулометрической) и химической дифференциации вещества. Точки составов пород глееватской свиты формируют тренд с дифференциацией от умеренно-высоко кремнистых псефитов ( $SiO_2 \leq 88\%$ ) до умеренно глиноземи-

стых метаалевролитов ( $Al_2O_3 \leq 18\%$ ) (рис. 2). Диапазон модуля AM (или размах дифференциации по  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ ) в целом характеризуется промежуточными параметрами между гумидными и аридными сериями фанерозоя (рис. 4) и варьирует (по средним значениям литохемотипов) от 0,06 в метаконгломератах до 0,23 в метаалевролитах, а с учетом крайних значений проб – 0,04–0,32. Промежуточное положение между гумидными и аридными сериями фиксируется и по сумме  $Fe_2O_3+FeO+MgO+CaO$ .

В выборке пород глееватской свиты отсутствуют как высоко глиноземистые метапелиты, так и высоко кремнистые метапсаммиты, характерные для областей с интенсивным химическим выветриванием, а также рециклитов. Высокие значения  $SiO_2$  фиксируются лишь в метаконгломератах и вызваны плотно сгруженным существенно кварцитовым составом галек. Псаммитовый матрикс метаконгломератов, также как и самостоятельные прослои метапесчаников, характеризуются умеренными значениями  $SiO_2 = 65–75\%$ . Это свидетельствует в целом об относительно небольшой степени механической и химической дифференциации во время накопления терригенных осадков глееватской свиты.

Значения индекса химического изменения пород CIA (Nesbitt, Young) не превышают 70 (рис. 5, таблица), то есть не выходят за пределы обстановок со слабым химическим выветриванием, и составляют, для среднего состава метапесчаников – 53,4, метаалевролитов – 62,7; в целом для метапсаммит-алевритовых пород – 66,9.

Качественную оценку интенсивности химического выветривания можно сделать на основании реконструкции исходного минерального состава осадков. По результатам пересчета на вероятный нормативный минеральный состав по методу MINLITH [10] исходно пелитоидная составляющая всех гранулометрических ти-

пов пород свиты (метаконгломератов, метапесчаников, метаалевролитов) представлена почти исключительно гидрослюдой; нормативные каолинит и монтмориллонит полностью отсутствуют, хлорит и серпентин изредка появляются в небольшом количестве в наиболее тонкой кластике (таблица).

нит полностью отсутствуют, хлорит и серпентин изредка появляются в небольшом количестве в наиболее тонкой кластике (таблица).

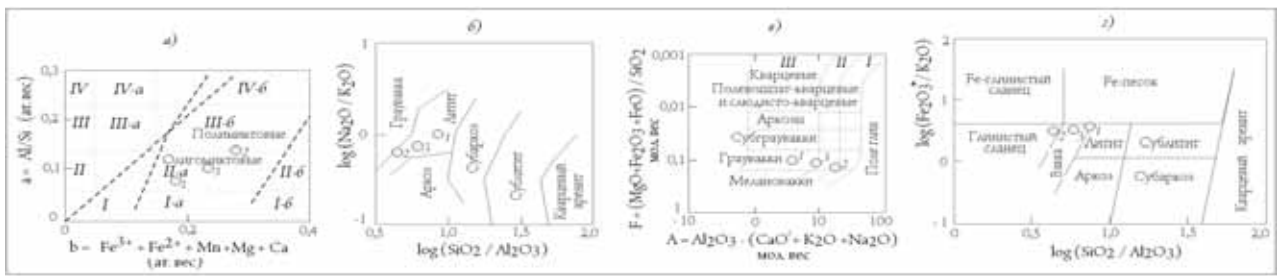


Рис. 3. Расположение средних составов метасаммо-алевритовых литохемотипов глееватской свиты на классификационных диаграммах для песчаных пород: а) А.Н. Неелова (Неелов); б) Ф. Петтиджона и др. (Pettijohn et al.); в) А.А. Предовского (Предовский); г) М. Хиррона (Herron). 1 – метапесчаники, 2 – метаалевролиты, 3 – средний состав метапесчаников и метаалевролитов

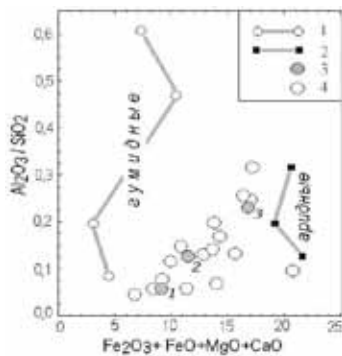


Рис. 4. Диаграмма  $Al_2O_3/SiO_2 - (Fe_2O_3+FeO+ MgO+CaO)$ . 1 – гумидные псаммо-алевро-пелиты мела Восточного Казахстана [Цеховский]; 2 – аридные псаммо-алевро-пелиты неогена Ферганы [Розен и др.]; 3 – средние составы литохемотипов глееватской свиты: метаконгломератов (1), метапесчаников (2), метаалевролитов (3); 4 – средние составы элементарных кластеров

Количество нормативного обломочного плагиоклаза, главным образом кислого, составляет в среднем 8% в метаконгломератах и 17% в метапесчаниках и метаалевролитах. Существенно гидрослюдистый состав глинистой компоненты пород подтверждается также на классификационной диаграмме Юдовича Я.Э. и Кетрис М.П. [2] (рис.6) – все точки наиболее тонкодисперсных кластеров попадают в поля IV–VI преимущественно гидрослюдистых глин.

Все эти признаки указывают на относительно низкую интенсивность химического выветривания на водосборах и определяющую роль гранитоидов в составе размываемых протолитов. Кроме того, повышенные железистость и карбонатистость пород, выраженные в содержаниях нормативного гетита в среднем 4,7–9,5% и доломита в среднем 7,4–8,3%, могут указывать на значительную роль в размываемом петрофонде исходно осадочных высокожелезистых и карбонатных пород, что подтверждается литолого-петрографическими методами.

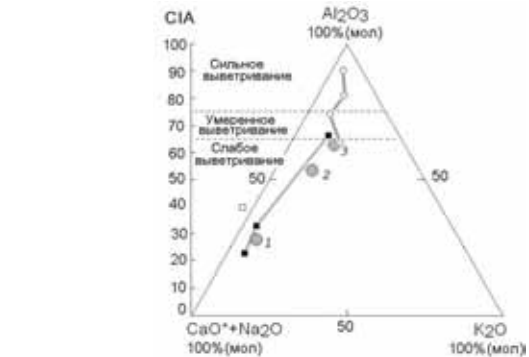


Рис. 5. Диаграмма А–СN–К ( $Al_2O_3-CaO^*+Na_2O - K_2O$ ). Условн. обозначения см. рис. 4

Общность состава метасаммитов свиты (включая матрикс метаконгломератов) по щелочным и щелочно-земельным элементам с метаалевролитами, которые являются заведомо бассейновыми по литологическим признакам образования, свидетельствуют о бассейновой седиментации в целом псефо-псаммит-алевритовых парагенезисов.

Состав метапесчаных пород, как известно, является хорошим индикатором различных геодинамических обстановок. По соотношению  $K_2O/Na_2O$  и  $SiO_2$  на диаграмме Б.Роузера и Р.Корша (Roser, Korsch) преобладающая часть метасаммо-алевритов глееватской свиты располагается в поле активных континентальных окраин (рис. 7, а). Близкая геодинамическая интерпретация может быть проведена по расположению точек пород свиты на диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами (Maunard, et al.) в координатах  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  (рис. 7, б, в). Как песчаные, так и алевритовые породы глееватской свиты локализируются в поле внутриконтинентальных рифтов и авлакогенов.

Также показательно использование геодинамических диаграмм М. Бхатия (Bhatia). По значениям  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3/SiO_2$ ,  $K_2O/Na_2O$ ,  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$  на этих диаграммах метапесчаные и метаалевритовые породы глееватской свиты соответствуют интервалам обстановок активных и пассивных континентальных окраин. Однако повышенные значения па-

раметра  $Fe_2O_3^*+MgO$  в них соответствуют океаническим и континентальным островным дугам.

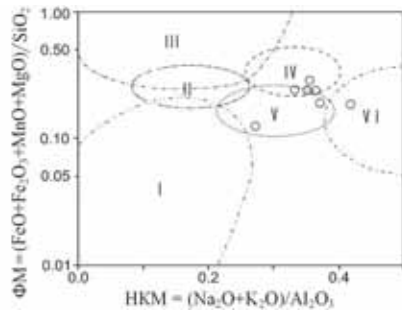


Рис. 6. Расположение точек средних составов наиболее тонких кластеров глееватской свиты (литохемитина-III) на модульной диаграмме ФМ–НКМ Юдовича Я.Э., Кетрис М.П. [2] для разделения глинистых пород. Масштаб для ФМ логарифмический. Поля глинистых пород: I – преимущественно каолиновых; II – преимущественно монтмориллонитовых с примесью каолинита и гидрослюд; III – преимущественно хлоритовых с примесью гидрослюд; IV – хлорит-гидрослюдистых; V – хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистых; VI – гидрослюдистых со значительным количеством дисперсных частиц полевых шпатов

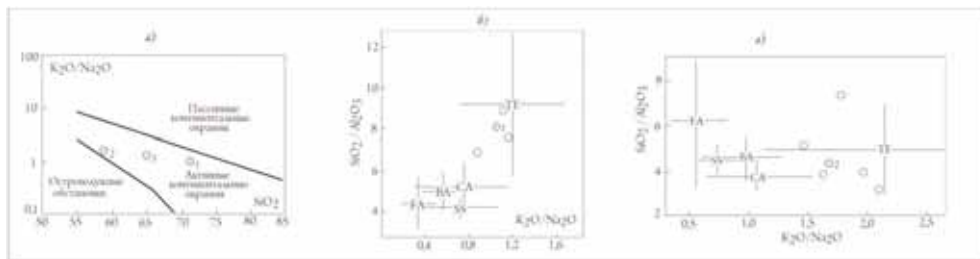


Рис. 7. Диаграммы по разделению песчаных и алевро-глинистых пород различных бассейновых геодинамических обстановок: а – для песчаных и алевро-глинистых пород (Roser, Korsch); б – для песчаных пород (Maynard, et al.); в – для алевро-глинистых пород (Maynard, et al.). Типы бассейновых обстановок (Maynard, et al.): пассивные обстановки (TE – интерконтинентальные рифты и авлакогены), бассейны активных континентальных окраин, сопряженные со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS), с окраинно-континентальной магматической дугой (CA), с океанической вулканической дугой (бассейны: FA – преддуговые и VA – задуговые). Усл. обозначения см. на рис. 3

2. Глееватская свита не является полным аналогом молассовой формации, поскольку сложена не наземными отложениями, а бассейновыми. Ее можно сопоставить в целом с флишовой формацией, судя по незрелому составу отложений и тектонически активному бассейновому режиму седиментации.

3. Выявленные литохимические особенности пород могут служить важным корреляционным критерием при региональных сопоставлениях верхов палеопротерозоя на разных щитах.

#### Список литературы / References

1. Интерпретация геохимических данных / [Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В. и др.]; под ред.

Как уже отмечалось выше, повышенная фемичность осадков не связана с вулканокластикой, а обусловлена значительной примесью в породах тонкой железистой и карбонатной кластики, поступавшей в бассейн при размыве ранее отложенных хемогенных железистых и карбонатных осадков. Поэтому использование параметра  $Fe_2O_3^*+MgO$  для оценки геодинамической обстановки в данном случае не вполне приемлемо.

#### Выводы.

1. По совокупности литолого-фациальных и литохимических данных метаосадки глееватской свиты соответствуют бассейновым образованиям слабодифференцированного в химическом и механическом отношении субграувакково-грауваккового серийного типа, сформированного в пределах континентальных областей с относительно активным тектоническим режимом (рециклированный континентальный ороген) и семигумидными-семиаридными климатическими условиями. Характерные литохимические особенности состава метаосадков (повышенная фемичность, кальциевость, преобладание калия над натрием), отличающие их от типичных граувакк, обусловлены составом размываемых протолитов, в которых, наряду с доминирующими плагиогранитоидами архея, значительную часть составляли исходно осадочные хемогенные железистые, карбонатные и терригенные алюмосиликатные породы палеопротерозоя. Доля базитовых пород в размываемом петрофонде относительно невелика.

Е.В. Склярова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 288 с.

Sklyarov, Ye.V., Gladkochub, D.P. and Donskaya, T.V. (2001), *Intespretatsyya geokhimicheskikh dannykh* [Interpretation of Geochemical Data], Intermet Engineering, Moscow, Russia.

2. Юдович Я.Э. Основы литохимии / Юдович Я.Э., Кетрис М.П. – СПб.: Наука, 2000. – 479 с.

Yudovich, Ya.E. and Ketris, M.P. (2000), *Osnovy litokhimii* [Basic Lithochemistry], Nauka, Sankt-Peterbourg, Russia.

3. Седиментация в раннем докембрии: типы осадков, метаморфизованные осадочные бассейны, эволюция терригенных отложений / [Розен О.М., Аббясов А.А., Аксаментова Н.В. и др.] – М.: Научный мир, 2006. – 400 с.



4. К вопросу о стратиграфической принадлежности образованной глееватской свиты в Криворожской структуре (предложения по уточнению стратиграфической схемы УЩ) / Н.С. Курлов, В.В. Захаров, В.К. Бутырин [и др.] // Геология і магматизм докембрію Українського щита. – 2000. – С. 48–50.

Kurlov, N.S., Zakharov, V.V., and Butyrin, V.K. (2000), "About stratigraphic affiliation of Gleevatky suite in Kryvoy Rog structure (suggestions for specification of the Ukrainian shield stratigraphic scheme)", *Neologiya i Mahmatyzm Dokembriuu Ukrainskoho Shchyta*, Kyiv, pp. 48–50.

5. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита / [Єсіпчук К.Ю., Бобров О.Б., Степанюк Л.М. та ін.] – К.: УкрДГРІ, 2004. – 30 с.

Yesipchuk, K.Yu., Bobrov, O.B. and Stepaniuk, L.M. (2004), *Korrelatsiina khronostratyhrafichna schema rannioho dokembriuu Ukrainskoho Shchyta* [Correlation Chronostratigraphic Scheme of Early Pre-Cambrian of Ukrainian Shield], UkrDGRI, Kyiv, Ukraine.

6. Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8 / [Курлов Н.С., Шеремет Е.М., Козарь Н.А. и др.] – Донецк: Ноулидж, 2011. – 556 с.

Kurlov, N.S., Sheremet, Ye.M., Kozar, N.A. (2011), *Krivorozhskaya sverkhglubokaya skvazhyna* "Kryvoy Rog Ultradeep Well CG-8", Knowledge, Donetsk, Ukraine.

7. Глееватские метаконгломераты Кривбасса – континентальные молассы или мелководно-бассейновые отложения? / Е.А. Кулиш, В.В. Покалюк, Н.С. Курлов, Ю.П. Мечников // Геохимия та екологія. Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2010. – Вып.18. – С. 7–26.

Kulich, Ye.A., Pokalyuk, V.V., Kurlov, N.S. and Mechnikov, Yu.P. (2010), "Gleevatky metaconglomerates of Kryvoy Rog iron ore basin – continental molassas or shallow-water basin deposits?", *Geokhimiya i Ekologiya. Collection of research works of Institute of Environmental Geochemistry*, Kyiv, Issue 18, pp. 7–26.

8. 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.

9. Паранько И.С. Метаконгломератовая и метапесчанково-сланцевая формации верхней части разреза Криворожской структуры (глееватская свита). Статья 2. Особенности происхождения формаций / И.С. Паранько, Г.М. Яценко // Геологический журнал – 1990. – № 5. – С. 124–130.

Paranko, I.S. and Yatsenko, G.M. (1990), "Metaconglomerate and meta-sandstone-slate formation of the upper section of Kryvoy Rog structure (Gleevatky suite). Article 2. Formation origin characteristics", *Geologicheskii Zhurnal*, no. 5, pp. 124–130.

10. Rosen, O.M., Abbyasov, A.A., and Tipper, J.C. (2004), "MINLITH – an experience-based algorithm for estimating the likely mineralogical compositions of sedimentary rocks from bulk chemical analyses", *Computers & Geosciences*, 2004, vol. 30, pp. 647–661.

**Мета.** З'ясування палеогеографічних і палеогеодинамічних особливостей седиментогенеза псефо-псам-

міт-алевритових парагенезісів глееватської свити Криворізького залізрудного басейну (КЗБ) на підставі літохімічних даних. Основні завдання досліджень: 1) вивчити структуру вибірки літохімічних даних; 2) реконструювати вихідний мінеральний склад метаосадових порід; 3) провести зіставлення літохімічних параметрів порід з неметаморфізованими аналогами різних кліматичних і геодинамічних зон.

**Методика.** Використані методи багатовимірної статистики для кластеризації вибірки, а також принцип серіального зіставлення з неметаморфізованими аналогами за низкою літохімічних коефіцієнтів і діаграм.

**Результати.** Встановлена приналежність метаседиментогенних утворень глееватської свити КЗБ до слабо диференційованої субграувакково-грауваккової псефо-псаммо-алевритової асоціації порід, проміжної за своїми петрохімічними параметрами між гумідними й аридними терригенними серіями фанерозою. Осадконакопичення здійснювалося за рахунок розмиву протолітів плагіогранітоїдного архейського фундаменту та раніше накопичених відкладів палеопротерозойського чохла. Передбачаються тектонічно активні, напіваридні, басейнові умови седиментації.

**Наукова новизна.** Визначений набір елементарних літохімічних кластерів, що характеризують повноту гранулометричного та хімічного спектра метаосадів глееватської свити. Деталізовані літохімічні типи метаосадів верхів палеопротерозою Криворізького залізрудного басейну.

**Практична значимість.** Дослідження сприяють удосконаленню літохімічної систематики метаседиментогенних порід Криворізького залізрудного басейну. Встановлені літохімічні особливості порід можуть служити важливим кореляційним критерієм при регіональних порівняннях стратифікованих комплексів раннього докембрію України та інших щитів.

**Ключові слова:** палеопротерозой, осадовий літогенез, метапесковики, метаалевроліти, метаконгломерати, Криворізький залізрудний басейн, літохімічні типи осадів

**Purpose.** The aim of the present study was to determine paleogeographic and paleogeodynamic features of sedimentogenesis of sandstone-siltstone associations of upper Paleoproterozoic of Kryvoy Rog iron ore basin based on lithochemical data. The main tasks were to investigate the lithochemical structure of the geological data, reconstruct the source mineral composition of metasedimentary rock, and compare the results with non-metamorphosed analogs.

**Methodology.** Multivariate statistic methods for clustering the data were employed, including the principle of serial comparison with non-metamorphosed analogs by a number of lithochemical coefficients and diagrams.

**Findings.** Metasedimentary formations of Gleevatky suite of Kryvoy Rog iron ore basin were attributed to poorly differentiated sub-greywacke and greywacke sandstone-siltstone rock association, which is characterized by intermediate petrochemical parameters between humid and arid terrigenous Phanerozoic series. Sedimentation was formed due to erosion of protolytes of plagiogranitoids of Archean

base and earlier sediments of Paleoproterozoic cover. Tectonically active semiarid basin conditions of sedimentation are thought to be present.

**Originality.** The set of elementary lithochemical clusters characterizing granulometric and chemical spectrum of metasediments of Gleevatsky suite was determined. Lithochemical types of upper Paleoproterozoic of Kryvoy Rog iron ore basin were specified.

**Practical value.** Research contribute to improving lithochemical systematic of metasedimental rocks of Kri-

УДК 550.4

С.П. Войтович

voy Rog iron ore basin. The determined lithochemical features of the rocks can be an important criterion for the correlation of stratified Early Precambrian complexes of Ukraine and other shields.

**Keywords:** *paleoproterozoic, sedimentary lithogenesis, metasandstones, metasiltstones, metaconglomerates, Kryvoy Rog iron ore basin, lithochemical types of sediments*

*Рекомендовано до публікації докт. геол. наук Л.М. Степанюком. Дата надходження рукопису 20.02.14.*

Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна, e-mail: starostasvetik@mail.ru

## ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДЗЕМНИХ І ШАХТНИХ ВОД ВУГІЛЬНИХ БАСЕЙНІВ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ТА ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАСУ)

S.P. Voitovych

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine, e-mail: starostasvetik@mail.ru

## GEOCHEMICAL FEATURES OF GROUNDWATER AND MINE WATER IN COAL BASINS OF UKRAINE (EVIDENCE FROM CHERVONOHRA D MINING AREA AND CENTRAL DONBASS)

**Мета.** Узагальнити відомості щодо компонентного складу та властивостей шахтних вод Центрального Донбасу й Червоноградського гірничопромислового району, дати порівняльну характеристику складу та властивостям цих вод.

**Методика.** Аналіз та узагальнення власних і опублікованих даних вітчизняних учених в області вивчення шахтних вод.

**Результати.** Проведена кількісна та якісна порівняльна оцінка складу шахтних вод Центрального Донбасу й Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР). Більш детально були розглянуті нейтральні води обох досліджуваних районів. Шахтні води ЧГПР характеризуються величинами мінералізації від 3 до 10 г/дм<sup>3</sup>, Донбасу – від 1–2 до 30 г/дм<sup>3</sup>. Встановлено, що у ЧГПР домінують аніони хлору, а в Донбасі – іони хлору та сульфат іони. Серед катіонів у ЧГПР переважають іони натрію, а шахтні води Донбасу мають різний катіонний склад.

**Наукова новизна.** Встановлені райони розповсюдження певних діапазонів концентрацій головних іонів складу шахтних вод, а також виявлені просторові геохімічні особливості цих вод. Уперше отримана порівняльна характеристика компонентного складу шахтних вод Центрального Донбасу та Червоноградського гірничопромислового району.

**Практична значимість.** Практичне значення дослідження полягає в тому, що результати вивчення компонентного складу шахтних вод можна використовувати для вибору оптимального способу очищення цих вод і прогнозу змін стану довкілля під їх впливом. Вибір оптимальної технологічної схеми очищення шахтних вод – достатньо складне завдання, що обумовлене складом цих вод і різноманіттям домішок, що знаходяться у воді. Відповідно, знання хімічного складу дає можливість здійснити вибір найбільш ефективного й низько затратного способу очищення. Отримані результати також можуть бути використані на вугільних підприємствах для прогнозу хімічного складу шахтних вод.

**Ключові слова:** *шахтні води, хімічний склад, Центральний Донбас, Червоноградський гірничопромисловий район*

**Постановка проблеми.** Шахтні води мають негативний вплив на навколишнє середовище. Унаслідок взаємодії в гірничих виробках з гірськими породами на шляху руху до водозбірників шахтні води досягають високої мінералізації, збагачуються продуктами руй-

нування гірських порід і вугілля [1]. У результаті цього накопичуються сульфати, збільшується вміст лужно-земельних елементів. Також шахтні води, стікаючи по відпрацьованому простору, збагачуються розчинами мінерального й механічного походження та завислими речовинами, що надають їм нові властивості й склад, що, у свою чергу, змінює якісні показники навколишнього середовища.