
НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

УДК 550.42 (476.5)

Александр Николаевич Галкин¹, Алексей Васильевич Матвеев²

*¹д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова*

*²д-р геол.-минерал. наук, проф., академик Национальной академии наук Беларуси,
гл. науч. сотрудник лаб. современной геодинамики и палеогеографии
Института природопользования Национальной академии наук Беларуси*

Alexander Galkin¹, Alexey Matveev²

*¹Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of the Department
of Ecology and Geography of Vitebsk State University named after P. M. Masherov*

*²Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Academician of the National Academy of Sciences of Belarus,
Chief Researcher of Laboratory of Modern Geodynamics and Paleogeography
of Institute for Nature management of National Academy of Sciences of Belarus
e-mail: galkin-alexandr@yandex.ru*

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОЛЩИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ*

Рассмотрены особенности распределения макро- и микроэлементов в четвертичных отложениях на территории Витебской области. По результатам анализа полученных данных определены ведущие геохимические ассоциации элементов в четвертичной толще, оценена степень их унаследованности от подстилающих пород, составлена схема территориального распределения этих ассоциаций.

Ключевые слова: четвертичные отложения, геохимия, макроэлементный состав, микроэлементы.

Geochemical Features of the Quaternary Deposits in the Vitebsk Region

The features of the distribution of macro- and microelements in the Quaternary deposits on the territory of the Vitebsk region are considered. Based on the results of the analysis of the obtained data, the leading geochemical associations of elements in the Quaternary sequence were determined, the degree of their inheritance from the underlying rocks was assessed, and a scheme of the territorial distribution of these associations was drawn up.

Key words: Quaternary deposits, geochemistry, macroelement composition, microelements.

Введение

Геохимические исследования четвертичных отложений на территории Витебской области, как и всей Беларуси в целом, широко развернулись в 1950-х гг. под руководством академика К. И. Лукашева. Им и работавшими под его руководством сотрудниками (С. Д. Дромашко, В. А. Ковалевым, В. А. Кузнецовым, В. К. Лукашевым, Н. Н. Петуховой, А. А. Хомичем и др.) был получен и обобщен ценный материал о миграции, статистических показателях распределения основных химических элементов и аккумуляции их в различных генетических типах четвертичных отложений, в почвах и растительных сообществах, выделены и изучены биогеохимические и гидрохимические

**Работа выполнена в рамках задания 10.4.02 «Разработка геолого-информационных моделей кайнозойских отложений территории Беларуси для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья и управления минерально-сырьевой базой» подпрограммы 10.4 «Белорусские недра» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.*

провинции, геохимические ландшафты и фации Беларуси, вопросы корреляции покровных образований и т. д. [4]. Кроме научных сотрудников, в эти же годы в изучении геохимии четвертичных отложений принимали участие геологи производственных организаций. При этом надо заметить, что до 1960 г. при геолого-съёмочных и поисково-разведочных работах содержание различных химических элементов в породах и подземных водах регистрировались лишь на локальных участках. Выводы, основанные на обобщении и систематизации материала, как правило, не делались. В то же время, начиная с 1963 г. геохимические методы исследований стали более широко применяться при проведении геолого-съёмочных работ, но в основном – для решения ряда геологических проблем. С конца 1960-х годов успешно изучались геохимические особенности отдельных генетических типов четвертичных отложений, поведение тех или иных элементов в четвертичной толще (Я. И. Аношко, С. Д. Астапова, Н. Н. Бамбалов, С. В. Бордон, Б. Н. Гурский, Г. В. Гурский, С. Г. Дромашко, А. Л. Жуховицкая, Н. В. Зайцева, В. Б. Кадацкий, В. А. Ковалев, В. А. Кузнецов, А. В. Матвеев, Л. И. Матрунчик, М. П. Оношко, Н. Н. Петухова, Н. Н. Чертко, С. Л. Шиманович, Е. С. Шляппо, В. И. Ярцев и др.). Одновременно с накоплением геохимических данных стали проводиться работы по геохимическому картированию территории страны. Они преследовали самые различные цели – от прогноза полезных ископаемых и их поиска до решения разных геологических задач (расчленение разрезов и их корреляция, выявление условий осадконакопления и т. д.).

В 1960-х гг. под руководством К. И. Лукашева были созданы первые мелкомасштабные геохимические карты покровных отложений с выделением специализированных провинций, а также почвенно-геохимические, гидрогеохимические и другие карты [4; 8]. В 1970–1975 гг. В. Е. Бордоном было выполнено геохимическое районирование ложа четвертичных отложений территории страны и составлена соответствующая мелкомасштабная карта. В 1980 г. составлена мелкомасштабная «Геохимическая карта антропогенных отложений Беларуси» на основе ландшафтного районирования Беларуси с выделением ведущих геохимических ассоциаций элементов и их уровней накопления в типах ландшафтов [2; 3]. В 1987–1999 гг. создана серия мелкомасштабных почвенно-геохимических карт территории Беларуси, отражающих последствия аварии в районе Чернобыльской АЭС. С. В. Бордоном и В. К. Лукашевым и другими исследователями построены геохимические карты территорий некоторых городов республики. В 2001 г. под руководством А. В. Матвеева была подготовлена геохимическая карта антропогенных отложений Беларуси масштаба 1 : 500000, на которой показана их геохимическая специализация, выделены геохимические ассоциации элементов, проведено геохимическое районирование территории.

Значительным событием в изучении геохимии четвертичных отложений территории страны, в т. ч. и Витебской области, стал выход в 2013 г. монографии А. В. Матвеева и В. Е. Бордона «Геохимия четвертичных отложений Беларуси» [9], в которой дана характеристика регионального (площадного) распределения основных породообразующих и микроэлементов, приведены кларки этих элементов, выявлены ведущие геохимические ассоциации.

Обобщение всех рассмотренных выше результатов работ позволяет с наибольшей полнотой охарактеризовать геохимические особенности четвертичных отложений на территории Витебского региона.

Материалы и методы исследований

В основу работы положены результаты анализа существующих опубликованных и фондовых научных и картографических работ по геохимии четвертичных отложений

Беларуси. В ходе выполнения работы использовались сравнительно-географический, экспертный, описательный и геоинформационный методы.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ картографических геохимических данных по макроэлементному составу четвертичных отложений Беларуси [9], свидетельствует о том, что содержание наиболее распространенных в четвертичной толще Витебской области оксидов кремния (SiO_2) относительно невелико по сравнению с другими областями республики и изменяется в интервале величин от 68,0 до 78,0 % (по массе), причем их минимальные значения, как правило, тяготеют к площадям, характеризующимся преобладанием в четвертичном разрезе моренных и озерно-ледниковых отложений. В то же время распределение оксидов алюминия (Al_2O_3) в рассматриваемой толще имеет обратную картину. Как показали исследования, наибольшее их содержание (10,0–13,0 % и более) выявлено на площадях, где в разрезе преобладают в основном моренные глинистые образования.

Четвертичные породы на территории Витебского региона, как и всей страны в целом, отличаются значительной ожелезненностью состава, поэтому содержание оксидов железа (Fe_2O_3) здесь достаточно велико. Наибольшее их количество (4–5 % и более) установлено примерно в тех же районах, где повышены концентрации окислов алюминия, что связано с широким распространением глинистых отложений.

Количество CaO в четвертичных отложениях области в основном изменяется в интервале 0,8–3,1 %. Максимальное их содержание (3,4 % и выше) установлено на участках, характеризующихся небольшой мощностью четвертичной толщи и залеганием в ее основании девонских известняков и доломитов.

Подобная картина наблюдается и в отношении содержания MgO в четвертичных отложениях, повышенные концентрации которых (2,0 % и выше) хорошо увязываются с распространением в субчетвертичном ложе девонских карбонатных пород.

Распределение содержаний K_2O в четвертичных отложениях подобно схемам территориального распространения Al_2O_3 и Fe_2O_3 , т. е. максимальные значения (2,0–3,0 % и более) установлены на тех площадях, где в четвертичном разрезе преобладают в основном глинистые образования.

И, наконец, количество Na_2O в рассматриваемых толщах отложений изменяется в небольших пределах (0,35–0,45 %), причем их низкие величины наиболее характерны для участков распространения в массивах четвертичных пород озерно-ледниковых отложений значительной мощности.

Определенный интерес представляют особенности содержания микроэлементов в четвертичных образованиях Витебского региона. При этом следует отметить, что строение и состав четвертичной толщи на исследуемой территории отличается невыдержанностью по простирацию и мощности генетических типов и фаций отложений, залеганием на одном уровне разновозрастных и разнофациальных аккумуляций.

В связи с этим для установления геохимических особенностей содержания микроэлементов в четвертичной толще целесообразно использовать типовые разрезы, которые не отражают строение какого-либо конкретного участка, а являются в определенной степени усредненной или генерализованной характеристикой [1].

С этой целью на основании анализа стратиграфической полноты разрезов, мощности четвертичных отложений в целом и их отдельных слоев, особенностей литологического состава, пространственного распределения основных генетических типов и их доли в общем объеме четвертичной толщи, характере строения ее ложа и рельефа земной поверхности нами были выделены и описаны одиннадцать типов четвертичных разрезов в пределах Витебского региона, формирующих своеобразные литогенетические поля (рисунок 1).

Таблица 1 – Среднее содержание микроэлементов в литогенетических полях Витебской области (по [9]), г/т

Среднее содержание минеральных элементов в литогенетическом поле Витовской области (по [2], [3], [4])														
Химический элемент	Литогенетическое поле													Кларк по [6]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10а	10б	11		
Ni	17,1	15,0	19,5	10,3	3,2	12,7	8,1	15,3	9,5	11,4	8,6	10,1	11,9	
Co	12,8	11,5	15,6	7,6	10	10,1	9,3	6,7	2,7	14,6	1,4	5,9	7,8	
V	28,5	41,7	44,5	69,2	6,4	38,6	54,7	37	18,8	50	21,3	38	29,0	
Mn	481,6	750,0	486,9	1030	116,9	776	1115,6	391	711,9	634	575	403,5	369,3	
Ti	3 047,7	3 666,6	3 478	4 257	527,8	3 520	4 343,8	2 349,7	2 619	3 033,3	2 685	2 320,2	2 170,4	
Cr	38,9	–	79,0	215,4	1,4	–	–	31,4	–	31	–	20,5	34,2	
Pb	13,0	10,3	15,6	21,0	10,0	10,4	23,1	10,7	9,7	16,6	12,1	36,5	14,9	
Mo	1,1	1,0	1,1	1,3	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	
W	3,0	3,0	3,0	–	–	3,0	–	5,25	3,0	3,0	–	3,0	3,0	
Zr	150	140	150,5	194,8	25,1	140	275	256	61,2	128,8	70,5	248,1	182,2	
Nb	8,3	7,5	9,5	7,1	6	5,1	8,1	3,3	3,4	6,4	3,2	4,4	6,2	
Cu	11,4	10,7	12,4	12,2	1,2	9	9,2	10,2	7,7	15,1	8,2	8,3	16,2	
Ag	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	–	–	1,7	–	1,0	1,0	
Zn	52,0	30	69,5	66,7	–	31,7	71	30	30	32	35	50	36,6	
Ge	1,0	1,0	1,2	1,0	–	1,0	1,0	–	1,0	1,0	–	1,0	1,1	
Yb	3,8	–	3,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,7	2,7	2,8	3,3	2,5	2,8	
Y	16,4	10,8	14,3	–	10,0	10,2	17,8	11,1	10,0	18,8	11,2	16,1	13,9	
Bi	1,0	1,0	1,0	1,0	–	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Ga	26,0	5,3	28,9	15,1	5,0	4,4	15,3	6,9	4,7	15,8	4,9	14,5	16,2	
Sc	10,2	–	10,4	10	–	–	10,0	10,0	–	10,0	–	10,0	10,0	
Sn	1,8	2,8	2,6	4,9	2,0	3,0	5,2	2,2	2,4	2,3	2,5	5,8	2,4	
Cd	10,0	–	10,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,6	
P	383,0	550,0	654,3	1 879,6	300,0	744,0	1 240,6	290,6	595,2	540,0	355,0	1 130,0	525,7	
Sr	100,6	100	100	94,4	100	100	100	116,7	100	100	100	100,0	109,8	
Ba	111,7	100	167,5	600	25	100	–	277,1	100	96,5	100	100,0	107,2	
Li	12,6	10	13,1	10	10	10	10	10	10	10	10	10,0	11,4	
B	18,5	34,2	24,6	29,4	20	38	19,7	20	18,2	34	18,8	29,0	18,5	

В *первом* литогенетическом поле содержание выше кларка наблюдается у Ni, Co, Mn, Ti, Cr, Nb, Zn, Y, Ga, Sc, Cd, Ba, Li; во *втором* – Ni, Co, V, Mn, Ti, Nb, P, B (на участках второго литогенетического поля в северной части региона состав и концентрация микроэлементов, согласно исследованиям А. В. Матвеева и В. Е. Бордона (2013), идентичны таковым первого литологического поля); в *третьем* – Ni, Co, V, Mn, Ti, Cr, Pb, Nb, Zn, Y, Ga, Cd, P, Ba, Li, B; *четвертом* – V, Mn, Ti, Cr, Pb, Zr, Nb, Zn, Sn, P, Ba, B; *пятом* – Co; *шестом* – Ni, Co, V, Mn, Ti, P, B; *седьмом* – Co, V, Mn, Ti, Pb, Zr, Nb, Y, P; *восьмом* – Ni, V, Mn, Ti, W, Zr, Sr, Ba; *девятом* – Mn, Ti, P; *десятым* – Co, V, Mn, Ti, Pb, Y, P, B; в *одиннадцатом* поле – у V, Mn, Ti, Pb, Zr, Zn, Y, Sn, P, B.

Из приведенных данных следует, что наибольшим многообразием микроэлементов, превышающих кларк, отличаются *первое*, *третье* и *четвертое* литогенетические поля. Причем для первого и третьего полей характерны высокое относительно кларка содержание в составе отложений Nb, Zn и Cd, а в четвертом поле – Cr, Zn, P и Ba. Практически во всех литогенетических полях, за исключением пятого, содержатся в повышенных концентрациях Mn и Ti.

В пределах некоторых литогенетических полей наблюдаются колебания содержания элементов в зависимости от подстилающих четвертичную толщу девонских терригенных или карбонатных пород. Наиболее ярко это выражено в *десятом* поле (таблица 1). Здесь, на восточном участке, где субчетвертичная поверхность сложена сменяющимися по мере продвижения на восток песчано-глинистыми отложениями среднего девона и верхнедевонскими доломитами и известняками, количественный состав и концентрация микроэлементов несколько выше, чем на западном участке, где в ложе четвертичной толщи залегают среднедевонские песчаные породы.

Особого внимания заслуживают *пятое* и *девятое* литогенетические поля, где в четвертичной толще выше кларка содержится лишь один (Co) и три (Mn, Ti, P) микроэлемента соответственно. Это объясняется, по всей вероятности, сочетанием специфики геохимии самих элементов, строения толщи четвертичных отложений и подстилающих их пород, гидрогеологических условий и природных особенностей территорий этих полей. Так, в пределах рассматриваемых полей в разрезе четвертичной толщи относительно высока доля слабопроницаемых глинистых пород, субчетвертичная поверхность сложена преимущественно песчаными породами среднего девона, глубина залегания грунтовых вод значительная, основной подземный сток формируется главным образом за счет вод, заключенных в подморенных и межморенных флювиогляциальных песках и супесях; для территорий характерны высокая степень заозеренности и лесистости (в пределах пятого литогенетического поля), а также значительная заболоченность и заторфованность (в девятом поле).

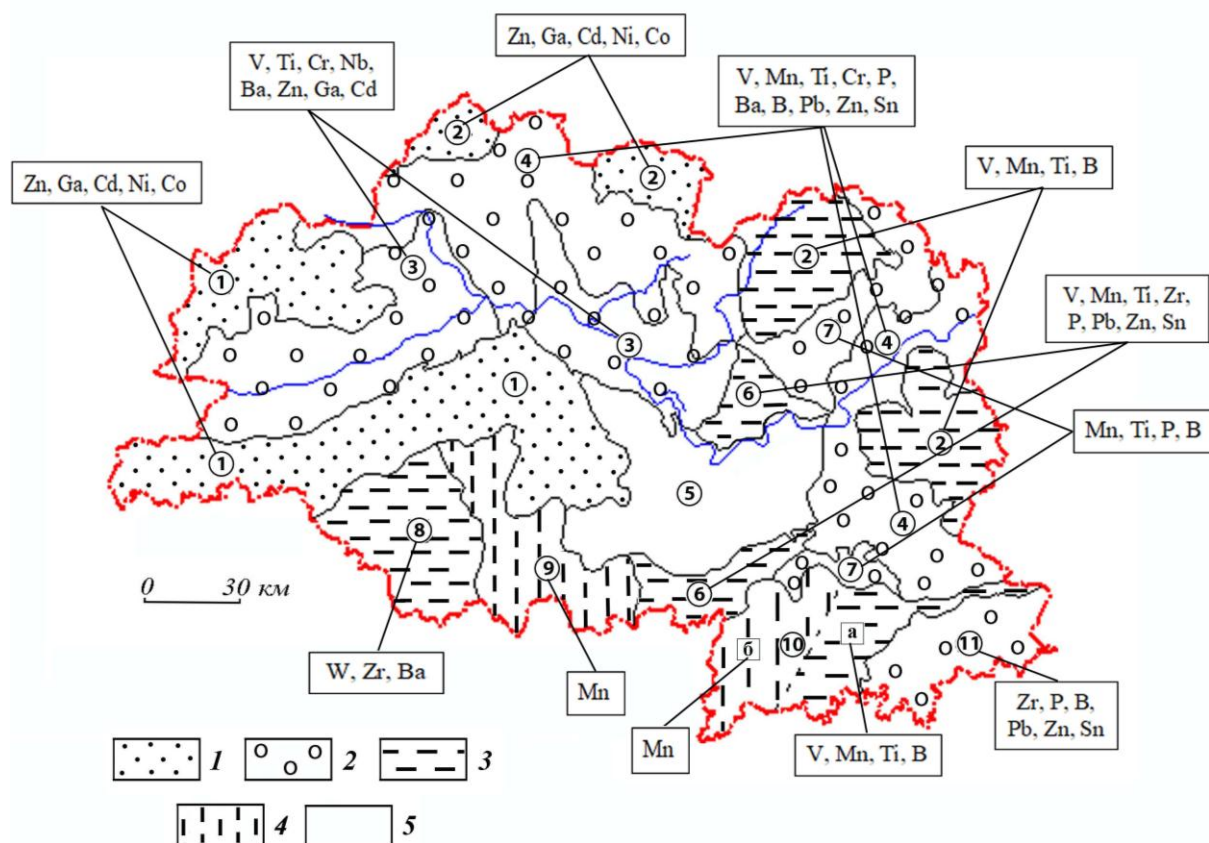
Как видно из анализа, распределение содержания микроэлементов в четвертичных отложениях Витебской области носит достаточно пестрый характер. В то же время, если рассматривать содержание элементов с коэффициентом концентрации $R = 1,0\text{--}1,4$ (где R – это отношение содержания элемента к его региональному кларку), то возникает возможность выделить геохимические ассоциации ведущих элементов, присущие какому-либо одному литогенетическому полю или группе полей.

Выделение геохимических ассоциаций элементов проводилось по методике А. А. Смылова [10; 11], суть которой заключалась в определении реальных содержаний элементов в однородном геохимическом поле, подсчете коэффициентов концентрации каждого элемента относительно кларка литосферы и их классификации. Элементы, попадающие в классификации в одну группу, составляют единую ассоциацию.

Сопоставление среднего содержания микроэлементов в литогенетических полях региона с их кларками в четвертичных отложениях территории Беларуси позволило рассчитать коэффициенты концентрации этих элементов и на их основании выделить

геохимические ассоциации, при этом в учет принимались лишь те элементы, которые имели наибольшие коэффициенты концентрации (в основном 1,1–1,4). Дифференция геохимических ассоциаций проводилась в соответствии с классификацией В. М. Гольдшмидта [7].

По полученным данным была построена схематическая карта, отражающая пространственное распределение относительно выделенных литогенетических полей в четвертичных отложениях Витебской области ведущих геохимических ассоциаций элементов (рисунок 2).



Ассоциации: 1 – халькосидерофильная (Zn, Ga, Cd, Ni, Co); 2 – литохалькофильная (преобладают V, Ti, Ba, Zn, P, Pb, Sn); 3 – литофильная (преобладают Mn, Ti, B, Ba); 4 – повышенные концентрации Mn; 5 – не выявлены

Рисунок 2 – Ведущие ассоциации элементов в четвертичных отложениях на территории Витебской области (по [9])

Судя по схеме, для четвертичных пород крайних северной и западной частей региона характерна халькосидерофильная ассоциация, значительные площади в северной, центральной, западной и восточных частях области занимает литохалькофильная ассоциация, литофильная – получила распространение на юге и востоке Витебщины. Отмеченная территориальная локализация основных геохимических ассоциаций, несомненно, связана с особенностями накопления ледниковых отложений, в формировании которых участвовал как дальнепринесенный, так и местный материал. По этим причинам вполне допустимо предположение, что геохимические особенности четвертичных отложений частично являются унаследованными от состава подстилающих пород, что представляет практический интерес, поскольку позволяет по геохимическим аномалиям в четвертичной толще прогнозировать высокие содержания тех или иных элементов

в коренных породах [9]. Сопоставление полученных данных с геохимическими данными дочетвертичных отложений [5] показало, что выделенная в пределах Витебской области халькосидерофильная ассоциация в общих чертах соответствует сидерофильной ассоциации карбонатной и глинисто-карбонатной формаций верхне- и среднедевонских пород, а литохалькофильная ассоциация отложений на территории региона коррелируется с площадями распространения литофильной и халькофильной ассоциаций песчано-глинистой формации среднего девона. Следовательно, можно констатировать тот факт, что геохимические особенности четвертичной толщи на территории Витебской области, как и всей Беларуси в целом, в значительной степени являются унаследованными от состава подстилающих дочетвертичных пород. В то же время следует заметить, что формирование четвертичных отложений в условиях неоднократных вторжений ледниковых покровов обусловило определенное смещение в дистальном направлении аномалий и геохимических ассоциаций элементов в рассматриваемой толще и подстилающих породах. Помимо этого, за счет привноса ледниками обломочного материала из центров оледенения и территорий, по которым двигались ледниковые покровы, в четвертичных отложениях сформировались и новообразованные аномалии Ni, Cr, Mn, Ti, Sr, Co и др. [9].

Заключение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Установлено, что содержание химических элементов в четвертичных отложениях на территории Витебского региона носит достаточно пестрый характер.
2. Выявлены различия выделенных литогенетических полей по уровню накопления – рассеяния микроэлементов. По полученным данным определены ведущие геохимические ассоциации элементов в четвертичной толще, оценена степень их унаследованности от подстилающих пород, составлена схема территориального распределения этих ассоциаций.
3. Показано, что геохимические особенности четвертичных отложений на территории Витебской области, как и Беларуси в целом, в основном объясняются своеобразием ледникового литогенеза, мощностью четвертичной толщи, а также составом подстилающих пород.
4. Результаты исследований могут представлять определенный практический интерес. Их можно использовать для обоснования направлений геологоразведочных работ, при разработке мероприятий по улучшению общей экологической ситуации в регионе и отдельных районах, размещении сельскохозяйственного производства, выделении рекреационных зон и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богдасаров, М. А. Геология и минералогия четвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины / М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2011. – 167 с.
2. Бордон, В. Е. Геохимия и металлоносность осадочного чехла Белоруссии / В. Е. Бордон. – Минск : Наука и техника, 1977. – 216 с.
3. Бордон, В. Е. Геохимия мезозойских отложений Белоруссии / В. Е. Бордон, Е. Т. Ольховик. – Минск : Выш. шк., 1974. – 177 с.
4. Геохимические провинции покровных отложений БССР / под ред. К. И. Лукашова. – Минск : Наука и техника, 1969. – 476 с.
5. Геохімічная карта дачацвярцічных адкладаў [Карта]. – 1 : 400 0000 / Я. І. Аношка [і інш.] / Нац. атлас Беларусі ; гал. рэдкал.: М. У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск : Кам.

па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 69.

6. Кларки микроэлементов в четвертичных отложениях Беларуси / В. Е. Бордон [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 6. – С. 85–86.

7. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич [и др.]. – М. : Недра, 1970. – 280 с.

8. Лукашэў, К. И. Геохимия ландшафтов / К. И. Лукашэў, В. К. Лукашэў. – Минск : Выш. шк., 1972. – 358 с.

9. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 191 с.

10. Скублов, Г. Т. Принципы составления полиэлементных геохимических карт / Г. Т. Скублов. – Л. : Недра, 1983. – 58 с.

11. Смыслов, А. А. Геохимические эпохи и провинции и их металлогеническая специализация / А. А. Смыслов // Тр. ВСЕГЕИ. – 1975. – Т. 241. – С. 5–18.

REFERENCES

1. Bogdasarov, M. A. Geologija i minieragienija chietviertichnykh otlozhienij tierri-torii Podljassko-Briestskoj vpadiny / M. A. Bogdasarov. – Brest : BrGU, 2011. – 167 s.

2. Bordon, V. Ye. Gieokhimija i mietallonosnost' osadochnogo chiekhla Bielarusi / V. Ye. Bordon. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1977. – 216 s.

3. Bordon, V. Ye. Gieokhimija miezozojiskikh otlozhenij Bielarusi / V. Ye. Bordon, Ye. T. Ol'khovik. – Minsk : Vysh. shk., 1974. – 177 s.

4. Gieokhimichieskije provincii pokrovnykh otlozhenij BSSR / pod ried. K. I. Lukashova. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1969. – 476 s.

5. Gieakhimichnaja karta dachatsvjartsichnykh adkladau [Kartta]. – 1 : 400 0000 / Ya. I. Anoshka [i insh.] / Nac. atlas Bielarusi ; hal. redkal.: M. U. Miasnikovich [i insh.]. – Minsk : Kam. pa ziamioel'nykh resursakh, hieadezii i kartahrafiu pry Saviecie Ministrau Resp. Bielarus', 2002. – S. 69.

6. Klarki mikroeliementov v chietviertichnykh otlozhenijakh Bielarusi / V. Ye. Bordon [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. – 2002. – Т. 46, № 6. – S. 85–86.

7. Kratkij spravochnik po gieokhimii / G. V. Vojtkievich [i dr.]. – M. : Niedra, 1970. – 280 s.

8. Lukashov, K. I. Gieokhimija landshaftov / K. I. Lukashov, V. K. Lukashov. – Minsk : Vysh. shk., 1972. – 358 s.

9. Matviejev, A. V. Gieokhimija chietviertichnykh otlozhenij Bielarusi / A. V. Matviejev, V. Ye. Bordon. – Minsk : Bielarus. navuka, 2013. – 191 s.

10. Skublov, G. T. Principy sostavlienija polielientnykh gieokhimichieskikh kart / G. T. Skublov. – L. : Niedra, 1983. – 58 s.

11. Smyslov, A. A. Gieokhimichieskije epokhi i provincii i ikh mietallogienichieskaja spicializatsija / A. A. Smyslov // Tr. VSEGEI. – 1975. – Т. 241. – S. 5–18.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 30.08.2023