

## Геохимия отложений Полоцко-Курземского пояса разломов (в пределах Беларуси)

Бордон В.Е.<sup>1</sup>, Матвеев А.В.<sup>2</sup>, Астапенко В.Н.<sup>1</sup>, Бордон С.В.<sup>1</sup>

1 – ГП "Белорусский научно-исследовательский

геологоразведочный институт" Минприроды Беларуси, Минск

2 – ГНУ "Институт природопользования НАН Беларуси", Минск

На фоне общей геохимической характеристики северной части Беларуси показаны специфические особенности Полоцко-Курземского пояса разломов, предложена методика его геохимической диагностики и дана оценка минерально-сырьевого потенциала. Полученные данные позволяют рекомендовать постановку поисковых работ на площади, примыкающей к изученному поясу разломов.

Исследование минералого-геохимической специализации тектонически активных зон имеет немаловажное значение, т. к. позволяет решать в комплексе с другими методами такие геологические задачи: диагностика разрывных нарушений, обоснование геохимических критериев выделения разломов глубинного заложения; выявление новых поисковых признаков на различные виды минерального сырья (В, Li, Rb, Hg и др.); открытие новых рудопроявлений и месторождений минерального сырья; оценка влияния глубинных разломов, эксгаляций по ним химических элементов на природные ландшафты и экологическую обстановку. Эффективность и практическое значение геохимических исследований повышается, если они проводятся до применения дорогостоящих методов, например бурения глубоких скважин. Выполненное изучение четвертичных отложений и верхних горизонтов коренных пород в зоне Полоцко-Курземского пояса разломов преследовало именно эти цели.

**Общая геохимическая характеристика изученной территории.** Полоцко-Курземский пояс разломов ограничен на севере и юге протяженными краевыми разломами, которые достаточно хорошо выделяются по цепочкам линейно вытянутых гравитационных и магнитных аномалий, полосам их высоких градиентов, "срезанию" одного типа гравитационных и магнитных полей другим, резким обрывом одиночных субмеридиональных и диагональных аномалий субширотными [1]. Южный (Полоцкий) разлом был также подтвержден сейсмологическими материалами, полученными по профилю Браслав – Плещеницы. На рис. 1–8 он показан сплошной линией, севернее г. Полоцк. Северный краевой разлом проходит близ г. Локня, за пределами Беларуси. Нами геохимическими методами изучена вся северная часть Беларуси от широты г. Витебск.

На рис. 1–8 показано распределение по латерали восьми ведущих микроэлементов в четвертичной толще северной части Беларуси, включая Полоцко-Курземскую зону разломов. Достаточно отчетливо выделяются три группы элементов, различающихся по характеру распределения: первая – элементы, концентрация которых резко увеличивается в центральной части (Co, Zr, Ni); вторая – элементы, содержание которых увеличивается в западной части пояса разломов (V, Cu, Ti), для титана фиксируется максимум также на востоке зоны; третья – элементы (Cr, Mn) с высоким уровнем накопления, изолинии значений содержания которых вытянуты вдоль зоны и плавно уходят на запад, а на востоке, в районе г. Витебск и юго-западнее него, образуют аномалию.

Проведенные исследования геохимических особенностей четвертичных отложений позволили выделить на изученной территории следующие ведущие ассоциации химических элементов: на западе – халькосидерофильная (Zn, Ga, Cd, Ni, Co) и литохалькофильная (V, Ti, Cr, Nb, Ba, Zn, Ga, Cd); в центральной части – литохалькофильная (V, Mn, Ti, Cr, P, Ba, B, Pb, Zn, Sn); на востоке – та же литохалькофильная и литофильная (V, Mn, Ti, B). Выделенные ассоциации служат индикаторами геохимических процессов в изученном регионе. Кроме того, они позволяют сократить количество элементов, среди которых нужно в дальнейшем искать элементы-индикаторы глубинных разрывных нарушений.

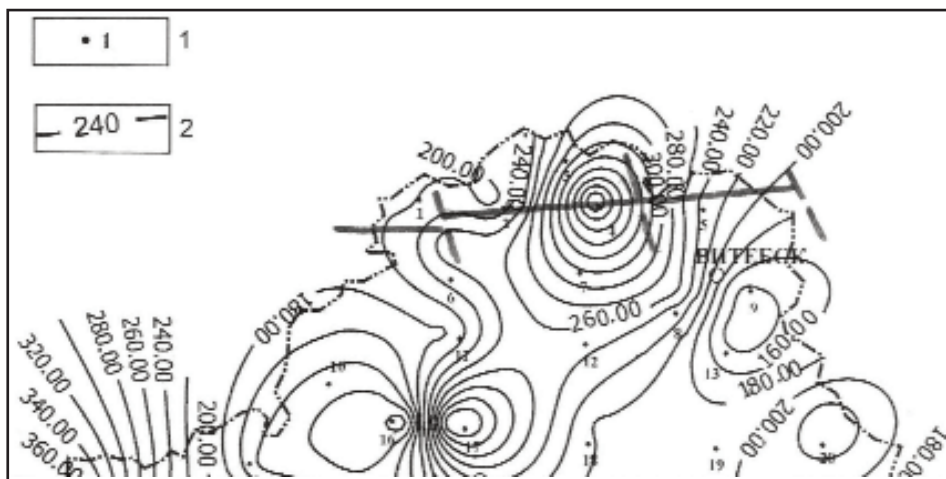


Рис. 1. Распределение циркония в четвертичных отложениях северной части Беларуси

Здесь и на рис. 2-8: 1 - точки геохимического опробования, 2 - изолинии значений содержания, г/т

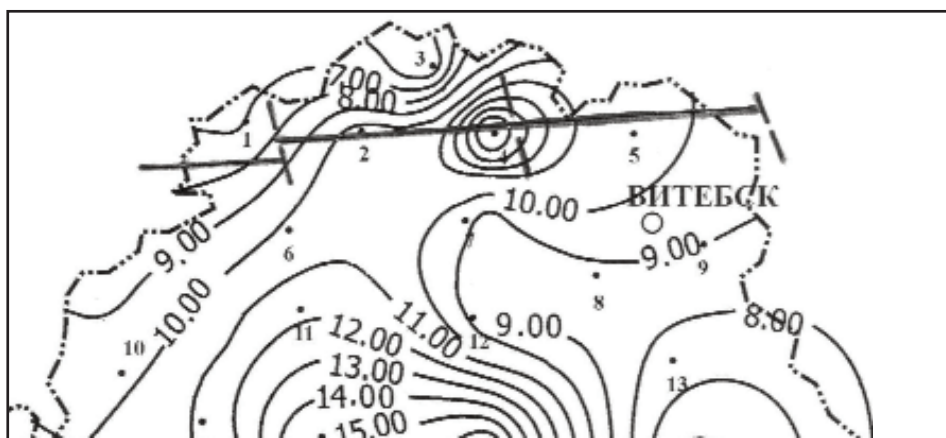


Рис. 2. Распределение кобальта в четвертичных отложениях северной части Беларуси

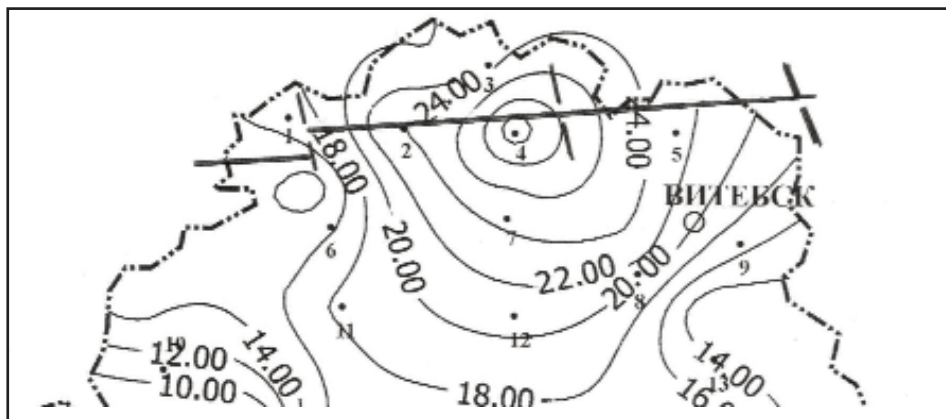


Рис. 3. Распределение никеля в четвертичных отложениях северной части Беларуси

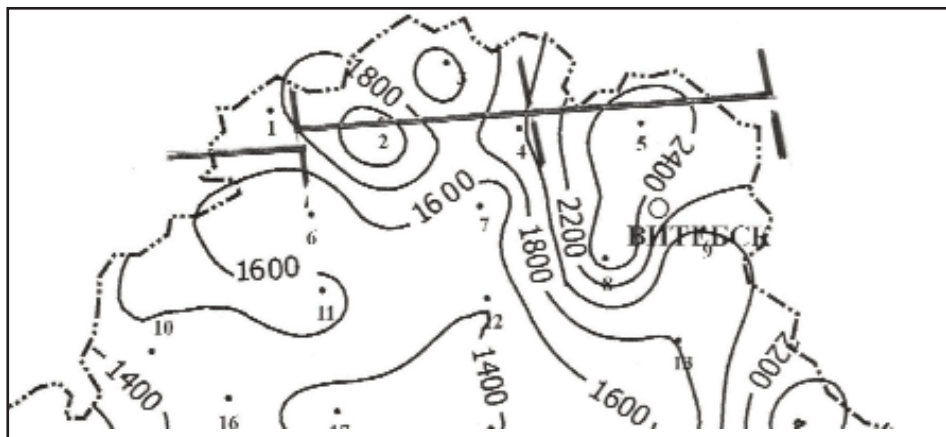


Рис. 4. Распределение ванадия в четвертичных отложениях северной части Беларуси

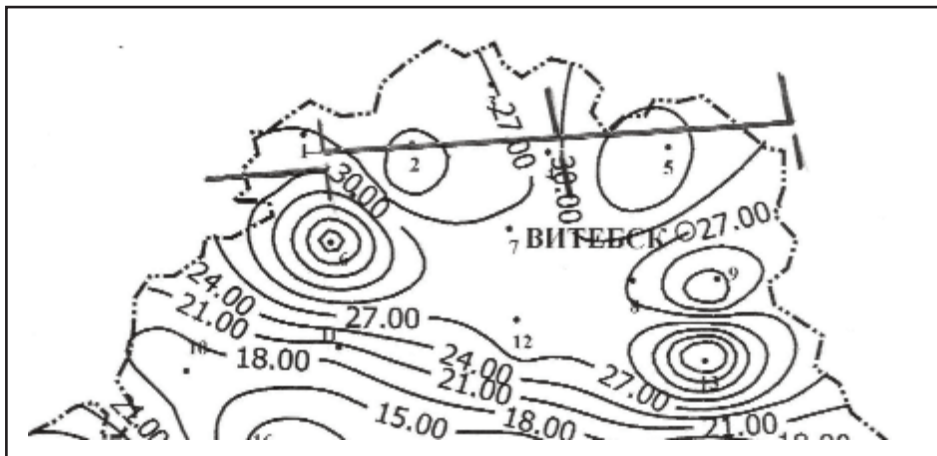


Рис. 5. Распределение меди в четвертичных отложениях северной части Беларуси

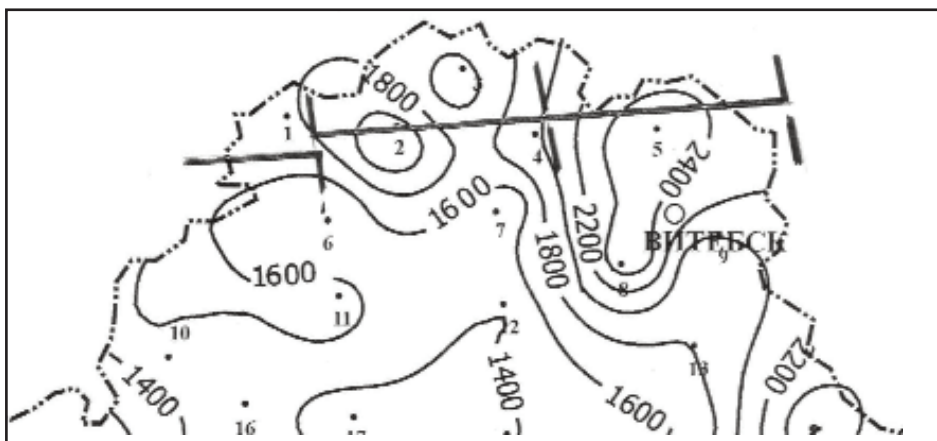


Рис. 6. Распределение титана в четвертичных отложениях северной части Беларуси

Помимо исследования геохимических особенностей четвертичной толщи в целом изучались также особенности ее верхней части – покровных образований. Анализ распределения V, Cr, Ni, Cu, Ti, Co, Zr, Mn показал, что большая часть территории Беларуси характеризуется нормальным геохимическим полем с околочларковыми содержаниями элементов. Однако в районах, испытывающих влияние глубинных разломов, в том числе и в Полоцко-Курземской зоне, выделяются поля с повышенным содержанием в покровных отложениях отдельных элементов. В изучаемой зоне это Cu, V, Co, Ti, Ni, Mn (рис. 9).

При изучении глубинных эксгальций Н.М. Страхов [2] предложил использовать железо-марганцево-титановый модуль (отношение значений содержания суммы Mn и Fe к Ti). Чем выше его величина, тем больше количество глубинного вещества в разрезе. На основе приведенного модуля авторы, учитывая значительные концентрации местного Fe в покровных отложениях, предложили другой коэффициент:  $B = (Mn / Ti) \cdot 100$ . Его величина, по всей видимости, может также рассматриваться в качестве показателя присутствия в разрезе глубинного материала (магматических пород, эксгальций и т. д.). Максимальная величина коэффициента **B** приурочена, как правило, к зонам глубинных разломов. В частности, в пределах Полоцко-Курземского пояса она составляет 35,0 (в основном 20,0–25,0). Участок с наиболее повышенным коэффициентом вытянут в субширотном направлении севернее г. Витебск.

В пределах Полоцко-Курземского пояса разломов по геохимическим данным выделяется серия аномалий в четвертичных в целом и в покровных отложениях. С целью разбраковки этих аномалий и выявления тех из них, которые можно отнести к классу унаследованных, проведена работа по определению геохимической специализации девонских пород.

С палеоландшафтных позиций всю Полоцко-Курземскую зону в среднедевонское и позднедевонское время можно отнести к ландшафту открытого моря, подводной равнине относительно глубоководного бассейна с периодическими колебаниями глубины.



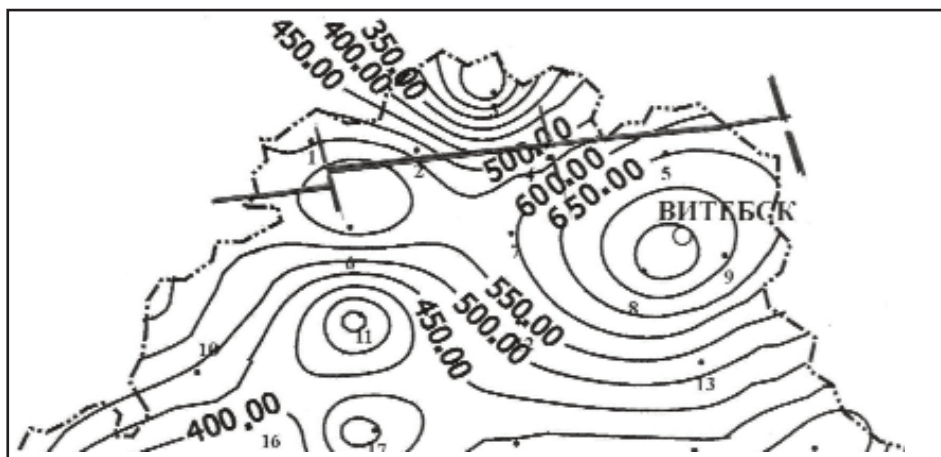


Рис. 7. Распределение марганца в четвертичных отложениях северной части Беларуси

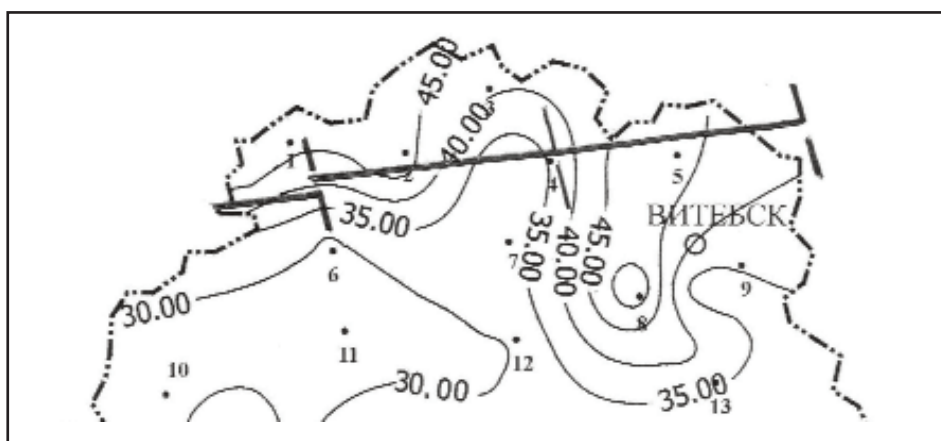


Рис. 8. Распределение хрома в четвертичных отложениях северной части Беларуси

С геохимических позиций – это область повышенного содержания многих элементов. Выделяется значительной концентрацией в разрезе У (карбонатные породы), Cu, Cr, Ti, V (во всех типах пород), Ni (песчаники, алевриты, карбонатные породы), Mn (песчаники и алевриты). Специфические, отличные от геохимического фона, особенности распределения установлены в отдельных литолого-геохимических полях у V, Cr, Mn. Аномальный уровень накопления в пределах зоны (на отдельных участках) отмечен у Pb, Cu, Be, Zr, Yb [3, 4].

Наиболее четко выделяется по геохимическим данным аномалия в районе гг. Браслав – Глубокое. Она характеризуется повышенной концентрацией в верхнедевонских отложениях V, Ni, Cu, в меньшей мере – Cr, совпадает с вышележащей зоной (в четвертичных отложениях) максимальных фоновых для северной Беларуси значений содержания Ni, V, Cr, Ni, Mn. Это позволяет сделать вывод о развитии на данной территории активных поступлений элементов из глубинных горизонтов. Еще одна аномалия выделена в районе г. Полоцк по концентрациям Mn, Ni, V, Ti, Cr и некоторых других элементов как в верхнедевонских, так и в подстилающих их среднедевонских породах.

Таким образом, установлено, что нормальное геохимическое поле четвертичных и коренных (девонских) отложений в пределах Полоцко-Курземского пояса разломов возмущается, вероятней всего, под воздействием вертикальной миграции элементов, хотя однозначного соответствия геохимических аномалий и ассоциаций элементов в четвертичных и коренных отложениях не наблюдается. И это естественно, т. к. поток вертикальной миграции может отклоняться в ту или иную сторону под воздействием ряда геологических факторов (литологические особенности пород, водоносность горизонтов и др.). Однако следует отметить, что на целом ряде участков в пределах зоны разломов, особенно вдоль ее границ, проекции точек с повышенным уровнем накопления элементов в верхней и нижней частях разреза достаточно близки. Это позволяет сделать вывод об их общем происхождении и генетической связи с тектонически активным поясом разломов.

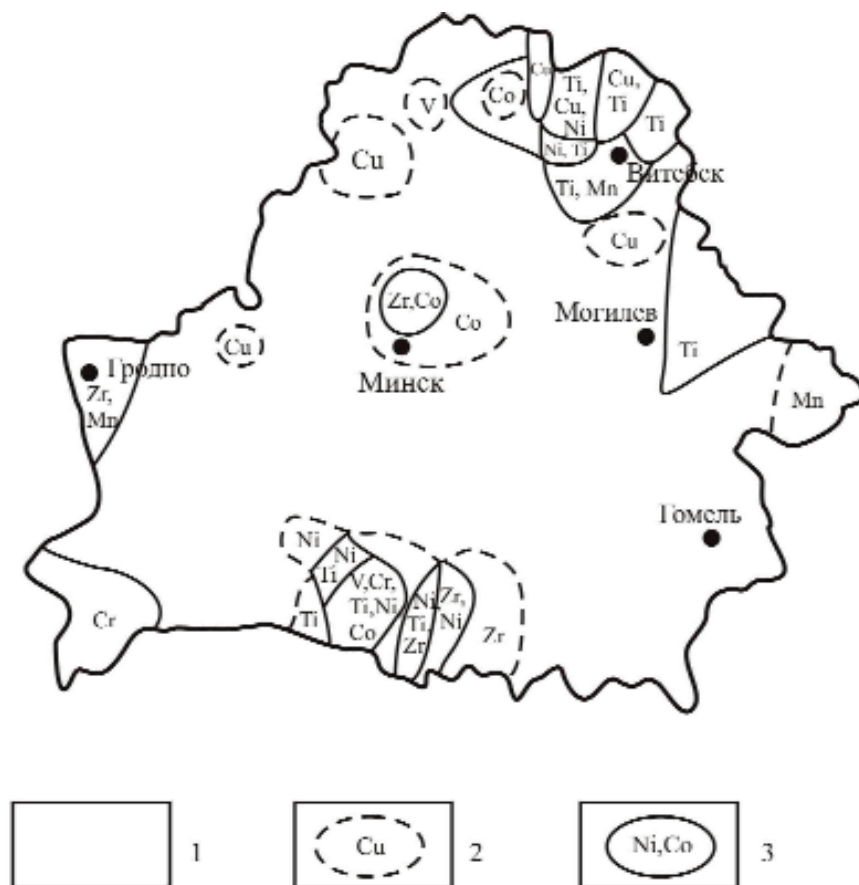


Рис. 9. Концентрации основных микроэлементов в покровных отложениях Беларуси:  
 1 – нормальное геохимическое поле (околокларковые содержания элементов),  
 2 – геохимическое поле с максимальным содержанием отдельных элементов,  
 3 – геохимическое поле с максимальным содержанием ассоциации элементов

**Геохимическая диагностика Полоцко-Курземского пояса разломов.** Выполненные ранее детальные минералого-геохимические исследования глубинного разлома, вскрытого шахтой в Припятском прогибе, позволили выявить в его зоне резкое увеличение концентрации Li, Rb и В [3], а также Mn, V и Ni, которые образуют "сквозные" аномалии. Унаследованность геохимических аномалий во времени и пространстве не такое уж редкое явление. Например, аномалии значений содержания Pb прослеживаются от верхнепротерозойских отложений до современных на территории Оршанской впадины. О дополнительном привносе элементов из глубинных активных очагов свидетельствует и значительное увеличение титано-железо-марганцевого модуля Н.М. Страхова. В глинах приразломной зоны, вскрытой шахтой в Солигорске, этот модуль составляет 132 и, следовательно, может рассматриваться в качестве доказательства вертикальной миграции элементов. Однако следует заметить, что элементы-индикаторы разломов глубинного заложения не являются одинаковыми для всех территорий и различаются в соответствии с особенностями их строения и развития.

В пределах Полоцко-Курземской зоны разломов по результатам геохимического исследования установлены повышенные значения концентрации Y, Cu, Cr, Ti, V, Ni, Mn в литологических разностях средне- и верхнедевонских пород, а также на отдельных участках аномалии Ni, V, Cr, Mn, Pb, Cu, Be, Zr, Yb, Cu, в частности V, Ni, Cu, Cr в районе гг. Браслав – Глубокое, Mn, Ni, V, Ti, Zr – в районе г. Полоцк. В то же время в исследуемом регионе, на широте г. Витебск и севернее его (55–56° с. ш.) в четвертичных отложениях прослеживаются в субширотном направлении три площади с характерными ведущими ассоциациями элементов: халькосидерофильная, литохалькофильная, литофильная. В верхней части разреза, практически на земной поверхности, отчетливо фиксируются поля с максимальным содержанием Cu, V, Co, Ti, Ni, Mn и выделяются аномалии Cr, Ni, Co. Здесь же резко повышается значение коэффициента *B*.

Установленные факты свидетельствуют о проявлениях вертикальной миграции химических элементов – их эксгальции из более глубоких слоев земной коры и, возможно, из верхней мантии. Сквозные, или унаследованные, геохимические аномалии подтверждают наличие в исследуемом районе тектонически активной зоны глубинных разломов, по которой и происходила в первую очередь миграция элементов. На это же указывают и следующие факты.

1. Выявлена взаимосвязь между распределением микроэлементов и объемом карбонатакопления в палеозойских, в том числе девонских отложениях, которая выражается в значительном уменьшении с ростом объемов карбонатакопления концентраций Ni, Co, V, Mn, Ti, Zr, Cu и некоторых других. В изучаемой зоне коренные девонские отложения представлены, главным образом, доломитами с прослоями известняков. Следовало бы ожидать, что суммарное количество микроэлементов здесь будет минимальным или, по крайней мере, достаточно низким. Наличие же зон с повышенными концентрациями и ряда аномалий говорит о дополнительном источнике поступления элементов, которым, на наш взгляд, и является их миграция из глубинных слоев по активным зонам.

2. Н.М. Страховым [2] установлено, что в прибрежных и более глубоководных частях палеобассейнов тенденцию к накоплению имеют разные группы элементов. В прибрежных – Ti, Zr, Ge, Cr, V, Nb и др., в глубоководных частях – Fe, Mn, Pb, Co, Ni, Cu, P, Mo. В зоне глубинных разломов эта достаточно четкая в нормальных бассейнах закономерность нарушается. Накапливаются и дают аномалии элементы обеих групп, что и наблюдается в Полоцко-Курземской зоне разломов.

С целью подтверждения возможности геохимической индикации тектонически активных разломных зон было проведено комплексное (профильное) геохимическое исследование покровных (глубина 0,2–0,3 м и 0,6–0,8 м) четвертичных отложений по профилю Россоны – Полоцк – Лепель вкрест простирания разломов. Полученные результаты показали, что зона разломов четко выделяется по максимальным значениям концентрации Zn, Cr, B, Nb, V на границах зоны; Ga, Co в самой зоне; P, Mn в ее центральных частях. Как правило, содержания элементов (как максимумы, так и минимумы) изменяются синхронно в верхней и нижней частях опробованной толщи. Видимо, именно эти элементы следует считать элементами-индикаторами разломных зон в пределах изученного региона.

**Оценка минерально-сырьевого потенциала Полоцко-Курземского пояса разломов по геохимическим данным.** Прогнозная минерагеническая оценка областей тектономагматической активизации, в том числе разломных зон, базируется на следующих основных положениях.

1. Наличие вертикальной миграции химических элементов из нижних частей земной коры и верхней мантии и как следствие – повышение концентраций элементов в породах, представляющих собой естественные сорбенты (карбонатные отложения, уголь, глины, сланцы и др.), в вышележащих горизонтах платформенного чехла вплоть до четвертичных отложений.

2. Накопление элементов на тех или иных участках путей их миграции может достигать уровня геохимической аномалии, рудопроявления или месторождения, причем как в кристаллическом фундаменте, так и в осадочном чехле.

3. Геохимические аномалии в коренных осадочных, вулканогенно-осадочных и четвертичных отложениях могут свидетельствовать о наличии рудопроявлений или месторождений осадочного (вулканогенно-осадочного) генезиса в платформенном чехле.

4. Геохимические аномалии в чехле, особенно в его нижней части, могут быть индикаторами рудоносности пород кристаллического фундамента.

5. Зоны крупных разломов играют значительную роль в формировании магматических формаций. Они определяют во многом размещение интрузивных и эффузивных тел, включая образование кимберлитовых (лампроитовых) пород.

Вертикальная миграция элементов и эндогенные процессы в зонах глубинных разломов в конечном счете определяют основные закономерности размещенных рудных (часто и нерудных) месторождений этих территорий [4]. Из общего количества изученных постмагматических рудных месторождений мира к разломам или их пересечениям приурочено 84 %.

По данным Д. Нобла [5], например, 257 самых значительных рудных месторождений Северной Америки расположены в узлах решетки, образованной системами разломов восточно-северо-восточного и субширотного простирания. С глубинными разломами в различных регионах мира связаны достаточно крупные месторождения Cu, Zn, Au, Ag, Pb, Sn, Li, Pt, Fe, Co, U и др. Большинство исследователей считает весьма вероятным предположение о формировании этих месторождений за счет эксгалаций элементов из мантии [6]. К настоящему времени установлена прямая или опосредованная связь с глубинными разломами обширного спектра полезных ископаемых. Это многие черные (Fe, Ti, Cr), цветные (Cu, Ni, Pb, Zn), редкие (Nb, Ta, Be, Zr), радиоактивные (U, Th), благородные (Au, Ag) металлы, а также определенная часть нерудных полезных ископаемых, к числу которых относятся апатит, флогопит, калийные соли, алмазы [7]. Н.В. Кудрявцев и ряд других исследователей отводят разломам исключительную роль в образовании нефтяных месторождений [8].

С учетом приведенных выше данных выполнена оценка прогнозно-поискового значения ряда элементов и их ассоциаций на исследованной территории на основе выявления и анализа геохимических аномалий и определения тенденции элементов к накоплению или рассеиванию.

В частности, анализ размещения серии геомагнитных аномалий, геохимические особенности Полоцко-Курземского пояса разломов, геохимическая специализация прилегающих территорий подтверждают установленную ранее [9] связь Браславского перспективного участка с обозначенным поясом разломов. Профильное геохимическое картирование свидетельствует о приуроченности большей части выявленных магнитных аномалий к трубкам взрыва. На геомагнитных аномалиях Василишки, Стракелевщина, Чурилово, Амбросенки, Ружанполье, Щетки, Осинородок, Сороки, Свидно, Дяденки, Лапишки, Калиты установлены повышенные уровни накопления ряда элементов, являющихся индикаторами кимберлитового магматизма. Главные из них – Mn, Ni, Co, V, Cr, на некоторых участках итрий и итербий. Аномальные значения содержания этих элементов концентрируются в узкой зоне, как бы окаймляющей центральную часть магнитной аномалии, причем содержание элементов-индикаторов значительно снижается в самом центре структуры и постепенно уменьшается за ее пределами. Приведенные данные позволяют считать Браславское поле перспективным на алмазы [10–12]. Здесь необходимо провести специальные поисково-оценочные работы, включая бурение заверочных скважин.

Установленные геохимические аномалии и участки с повышенным уровнем накопления Zn, Cr, В, Nb, V, Ga, Co, Р, Mn, Y в верхних горизонтах чехла (четвертичные отложения, в том числе покровные) и частично в девонских отложениях (в керне редких скважин) по существу являются поисковыми признаками цветных, редких, частично редкоземельных элементов. Содержания элементов не достигают промышленных значений, но находятся в пределах минимально-аномальных – аномальных концентраций. Это позволяет считать всю зону Полоцко-Курземского пояса разломов и прилегающие территории перспективными на цветные металлы, редкие и, возможно, редкоземельные и другие элементы. Вероятно, следует рекомендовать проведение здесь специальных или попутных поисково-оценочных работ с детальной геохимической съемкой и бурением контрольно-заверочных скважин.

**Выводы и рекомендации.** Геохимическое исследование Полоцко-Курземского пояса разломов и прилегающих областей позволяет сделать следующие выводы.

1. Изученная территория является областью тектоно-магматической активизации, где происходит интенсивная вертикальная миграция химических элементов из нижних слоев земной коры и верхней мантии в верхние горизонты платформенного чехла, вплоть до покровных отложений квартера.

2. Полоцко-Курземская зона разломов достаточно четко выделяется по следующим элементам-индикаторам – Zn, Cr, В, Nb, V (максимальные концентрации на границах зоны), Ga, Co (высокий уровень накопления по всей зоне), Р, Mn (в центральных частях зоны).

3. Наличие повышенных концентраций в верхних горизонтах осадочного чехла Zn, Cr, В, Nb, Ga, Co, Р, Mn и некоторых других позволяет предполагать потенциальное скопление в ниж-



них частях чехла или в породах фундамента этих элементов и их спутников в более значительных количествах, возможно, достигающих уровня рудопроявления или месторождения.

4. Под влиянием Полоцко-Курземской зоны разломов сформировалось Браславское поле потенциального развития диатрем, индикаторами которых можно считать Mn, Ni, Co, V, Cr; в меньшей мере – Yb и Y.

К рекомендациям, разработанным в процессе выполнения настоящего исследования, относятся следующие.

1. Необходимо продолжить комплексные исследования Полоцко-Курземского пояса разломов, уделив особое внимание поисковой оценке различных видов минерального сырья, в первую очередь цветных металлов, редких элементов, алмазов, выяснению влияния разломных зон на экологическую обстановку прилегающих территорий (повышение содержания тяжелых металлов и других микроэлементов, изменение характера и интенсивности различных излучений, изменение в целом геохимического и других полей).

2. Следует провести специальные работы по геохимическому картированию покровных отложений всей территории Беларуси с целью решения следующих актуальных задач:

а) выделение в земной коре наиболее проницаемых зон, к числу которых относятся глубинные разломы, примыкающие к ним территории, участки трещиноватости горных пород, районы развития вулканической деятельности, интрузии и т. д.

б) определение по геохимической специализации вышележащих отложений, в том числе покровных, характера глубокозалегающих пород, выяснение их основных петро- и геохимических параметров и минерагенической значимости.

3. Целесообразно приступить к работе по составлению атласа геохимических карт территории Беларуси, показывающих закономерности распределения и миграции химических элементов в различных стратиграфических подразделениях чехла и в кристаллическом фундаменте. На первом этапе выполнения такой работы нужно составить атлас распределения химических элементов и оксидов в отложениях четвертичной системы в целом и в покровных отложениях в частности.

1. Разломы земной коры Беларуси / Под ред. Р.Е. Айзберга. – Мн., 2007. – 372 с.
2. Страхов Н.М. Развитие литологических идей в России и СССР. – М.: Наука, 1971. – 600 с.
3. Бордон В.Е., Ольховик Е.Т. Минералого-геохимические критерии выделения зон глубинных разломов и тектоно-магматической активизации древних платформ. Эндеогенные процессы в зонах глубинных разломов. – Иркутск, 1989. – С. 16–17.
4. Эндеогенные процессы в зонах глубинных разломов. – Иркутск, 1989. – 267 с.
5. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые. – М.: Недра, 1986. – 751 с.
6. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений / М.А. Фаворская, И.Н. Томпсон, В.А. Баскина и др. – М.: Недра, 1974. – 192 с.
7. Найденов И.В. Геология и металлогения разломных зон кристаллического фундамента Беларуси // Литосфера. – № 2 (25). – 2005. – С. 43–51.
8. Кудрявцев Н.А. Глубинные разломы и нефтяные месторождения. – П., 1963. – 220 с.
9. Мастюлин Л.А., Кузнецов Ю.Н., Астапенко В.Н. Перспективы Каунасско-Полоцкой зоны глубинных разломов на поиски кимберлитовых трубок в свете глубинной геофизики // ДАН СССР. – XXXV, № 12. – 1991. – С. 1123–1126.
10. Матвеев А.В., Астапенко В.Н., Бордон В.Е., Левашкевич В.Г. Результаты комплексных исследований и прогноз оценки алмазоносности севера Беларуси // Анализ современного состояния и направление дальнейших геологоразведочных работ на алмазы в Беларуси. – Мн., 2005. – С. 70–76.
11. Bordon V. Mineralogical and Chemical Model of Belarussian Diatremes // Extended abstracts of 7-th international kimberlite conference. – Cape Town, 1998. – P. 76.
12. Bordon V., Astapenko V. Braslav Si Field: The prospects for discovering diamandiferonsrocks // Extended abstracts of 7-th international kimberlite conference. – Cape Town, 1998. – P. 80.



На тлі загальної геохімічної характеристики північної частини Білорусі показані специфічні особливості Полоцько-Курземського поясу розломів, запропоновано методику його геохімічної діагностики і здійснено оцінку мінерально-сировинного потенціалу. Отримані дані дозволяють рекомендувати постановку пошукових робіт на площі, що примикає до вивченого поясу розломів.

Against the background of general geochemical characteristics of the northern part of Belarus, specific features of the Polotsk-Kurzeme faults belt are shown, methods of its geochemical diagnostics are suggested, and evaluation of its mineral resources potential is given in the paper. Geological prospecting in the area adjacent to the investigated faults belt is recommended on the basis of the data obtained.