

АПАТИТОНОСНОСТЬ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСОВ РОССИИ

Е.В. Беляев

*Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных
полезных ископаемых, 420097, Казань, ул. Зинина, 4, Россия*

Статья посвящена важному и актуальному вопросу — проблеме развития минерально-сырьевой базы России. В качестве нового альтернативного источника апатитовых руд выдвинуты вулканогенно-осадочные комплексы зеленокаменных поясов. Рассмотрены характерные особенности и минерагеническая специализация зеленокаменных комплексов Карельского, Алданского и Анабарского щитов. Дана краткая геологическая характеристика проявлений апатитовой минерализации. Предложены основные направления научно-исследовательских и геолого-разведочных работ, результаты которых позволят решить проблему апатитоносности метавулканогенно-осадочных комплексов.

Апатит, архейский зеленокаменный пояс, щит, метавулканогенно-осадочный комплекс, минерально-сырьевая база России, перспективы, направление.

APATITE-BEARING GREENSTONE BELTS IN RUSSIA

E.V. Belyaev

The paper discusses the important and urgent problem of enlarging the mineral resources of Russia. Volcanosedimentary complexes of greenstone belts are suggested as a new alternative source of apatite ores. The distinguishing features and minerageny of greenstone complexes in the Karelian, Aldan, and Anabar Shields have been considered. Apatite occurrences have been described in brief. The paper suggests the main lines of study and geological exploration of apatite-bearing metavolcanosedimentary complexes.

Apatite, Archean greenstone belt, shield, metavolcanic sedimentary complex, mineral resources of Russia, prospects, guidelines

ВВЕДЕНИЕ

Развитие минерально-сырьевой базы апатита нашей страны многие годы основывалось на крупномасштабных объектах с высококачественными рудами. Такими объектами являются уникальные Хибинские нефелин-apatитовые месторождения Кольского полуострова. Однако ориентация на поиски подобных месторождений не привела к обнаружению крупных объектов с богатыми и легкообогатимыми рудами. Требуется иная программа проведения геолого-разведочных работ, нацеленная на выявление и оценку средних и мелких месторождений апатита, на базе которых возможно создание не комбинатов-гигантов, а небольших эффективных предприятий. Реализация такой программы потребует как геолого-экономической переоценки минерально-сырьевой базы апатитов, так и выявления новых источников апатитового сырья. Одним из таких источников могут явиться метавулканогенно-осадочные комплексы архейских зеленокаменных поясов.

Промышленные месторождения апатита Российской Федерации и мира сосредоточены преимущественно в пределах рифтогенных структур кристаллических щитов и их склонов [Файзуллин и др., 2001]. Первые значительные скопления апатита на территории России возникли в раннем протерозое (1900—1700 млн лет) в интрузивных массивах щелочно-габброидной формации, локализующихся в проторифтогенных структурах Балтийского щита (Гремяха-Вырмесский, Ельтозерский). Содержание апатита в комплексных железо-титановых рудах сравнительно невысокое ($P_2O_5 = 3—4.5$ мас. %), однако по суммарным запасам и прогнозным ресурсам апатита указанные объекты сопоставимы с крупными месторождениями. Следующий значительный всплеск промышленного апатитообразования связан с щелочно-ультрамафитовой карбонатитовой формацией, становление последней произошло в каледонскую стадию рифтогенеза (500—380 млн лет). Карбонатитовые массивы центрального типа расположены в узлах пересечения зеленокаменных и проторифтогенных поясов более молодыми Ковдоро-Хибинской и Турьинской рифтовыми зонами. Апатит-редкометалльно-магнетитовые руды формации суммарно концентрируют около 230 млн т запасов и прогнозных ресурсов P_2O_5 . Хибинский массив формации агпаитовых нефелиновых сиенитов, несущий уникальные по качеству и запасам (около 600 млн т P_2O_5) месторождения нефелин-apatитовых руд, расположен в узле пересечения трех рифтовых структур: раннепротерозойской (регенерированной в палеозое) Печенга-Варзугской, раннепалеозойской Ковдоро-Хибинской и среднепозднепалеозойской Хибино-Контозерской.

В пределах Анабарского щита и его склонов в узлах пересечения разноориентированных рифтовых структур (Р—Т₁) возникли щелочно-ультрамафитовые массивы центрального типа (Ессей, Маган, Ыраас и др.), с которыми ассоциируют промышленно-перспективные залежи комплексных и мономинеральных апатитовых руд с суммарными запасами в 1.8 млрд т Р₂О₅.

Аналогичная приуроченность интрузивных массивов с апатитовым оруденением к рифтогенным структурам различного возраста характерна также для Алданского и Украинского щитов.

В зеленокаменных поясах, представляющих собой структуры рифтогенного ряда, промышленное апатитовое оруденение пока не выявлено, но изложенные выше материалы не исключают возможность их обнаружения.

Зеленокаменные пояса типичны для строения архейских щитов. Особенности внутреннего строения, формирования и вещественного состава позволили выделить четыре типа зеленокаменных поясов: бимодальный, терригенно-бимодальный, мультимодальный антидромный и гомодромный [Беляев, 2006].

Характерной чертой структур бимодального типа является мафическо-ультрамафический состав нижней (инициальной) группы пород и мафическо-фельзический — верхней (зеленокаменной). В разрезе последней группы крайне редки или полностью отсутствуют вулканиты среднего состава. К зеленокаменным структурам данного типа приурочены известные апатитопоявления Карельского, Алданского и Анабарского щитов. Рудоносные структуры представляют собой локальные прогибы, совокупность которых образует пояса. В морфологическом отношении апатитоносными являются простые и неправильные структуры линейного класса.

Метавулканогенно-осадочные породы поясов вмещают месторождения золото-сульфидно-кварцевой, баритовой, сульфидной медно-никелевой, колчеданной полиметаллической, колчеданной медно-цинковой и других рудных формаций. Не оцененные по масштабам рудопроявления апатита приурочены к метавулканогенно-осадочным комплексам Алданского (Холболок-Урагинское), Карельского (Пулозерское, Коросозерское, Каменноозерское) и Анабарского (Ильинское, Билляхское) щитов России [Беляев, 1996, 2006].

АПАТИТОНОСНОСТЬ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСОВ РОССИИ

Зеленокаменные пояса Алданского щита развиты в пределах Чаро-Олекминского (рис. 1) и Маймакано-Батомгского мегаблоков (зеленокаменных областей). Заложение их связано с позднеархейским (киватинским) тектоническим циклом, начавшимся с мощной деструкции протоконтинентальной коры и завершившимся эпохой кратонизации [Аксенов и др., 1990]. Основание гранит-зеленокаменных областей слагают нижнеархейские тоналито- и гранитогнейсовые («серогнейсовые») комплексы фемического типа, на которые наложился приразломные зеленокаменные (троговые) пояса (Субганский, Олондинский, Саймаганский, Тасмиэлинский и др.). В их строении принимают участие породы субганского, амедичского, унгринского и других комплексов (AR₂). Образование метаморфических толщ сопровождалось дунит-гарцбургитовым, габбро-пироксенитовым и гранитоидным магматизмом. Метаморфизм протекал в условиях амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и, в меньшей мере, зеленосланцевой фаций.

В метавулканогенных коматиит-пикрит-базальтовых породах, выполняющих зеленокаменные пояса (Саймаганский, Олондинский, Субганский и др.), установлены многочисленные слабоизученные рудопроявления. Так, в северной части Саймаганского трога локализуется Холболок-Урагинское проявление. Слагают структуру терригенные, карбонатные, кремнистые и вулканогенные комплексы пород формации высокоуглеродистых двуслюдяных и высокоглиноземистых сланцев и кварцитов (AR₂), измененные в зеленосланцевой, реже амфиболитовой фациях метаморфизма. Продуктивная толща прослежена по простиранию на 30 км при суммарной мощности фосфатсодержащей части разреза около 1000 м (рис. 2). Апатитоносными являются интенсивно пиритизированные кварц-диопсидовые и кварц-диопсид-кальцитовые разности пород, залегающие в виде отдельных рудных залежей протяженностью до 3 км и мощностью 3—7.5 м (суммарно до 70 м) среди слюдисто-графитисто-кварцевых сланцев, кварцитов и скарнированных известняков субганского структурно-формационного комплекса (AR₂). Содержание Р₂О₅ в рудах колеблется от 8.2 до 20.5 мас. %.

В зависимости от соотношения главных породообразующих минералов (кварца, апатита, диопсида, карбонатов и др.) выделяются апатит-карбонатные и апатит-силикатные разности руд. Руды апатит-силикатного состава представлены мелко- и микрозернистыми, тонко- и нечетко слоистыми кальцит-диопсид-кварцевыми скарнами и апатитовыми кварцитами. Содержание Р₂О₅ в них изменяется в пределах 8.61—20.50 мас. % (среднее 12.8 мас. %).

Руды второго типа — существенно кальцитовые с тремолитом, диопсидом, актинолитом, полосчатые и неясно-полосчатые породы; преимущественно мелко- и микрозернистые, реже неравномерно-зернистые с прослоями микрозернистого апатита (мощность слоев последнего от долей миллиметров до 5—7 см). Минеральный состав (мас. %): кальцит (до 24), доломит (до 20), апатит (до 30), амфибол (до

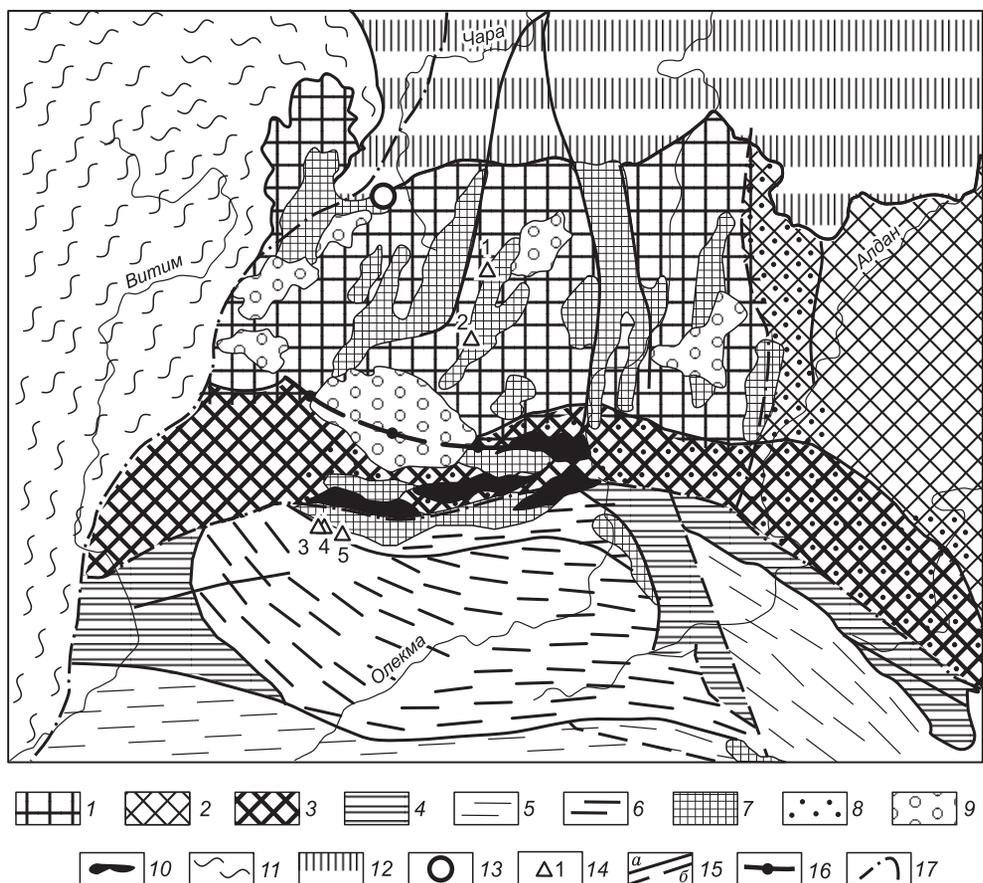


Рис. 1. Схема геологического строения западной части Алданского кратона.

1—3 — протомассивы фундамента (AR_1): 1 — гранитогнейсовые, 2, 3 — гнейсово-гранулитовые: 2 — сиалические, 3 — фемические; 4 — выступы фундамента гранулитовые (AR_1); протогеосинклинальные системы фундамента (AR_2); 5, 6 — амфиболит-гнейсовые: 5 — фемические, 6 — сиалические; 7 — зеленокаменные метавулканогенные пояса (AR_2); 8 — тектонотермальные пояса (AR_2); 9 — протоплатформенные прогибы и осадочные впадины (PR_1); 10 — анортозитовые массивы (AR_2); 11 — фанерозойские складчатые области; 12 — платформенный чехол; 13 — рудопоявления апатита (Урагинское); 14 — пункты минерализации апатита (1 — Олондинский, 2 — Тарын-Юряхский, 3 — Тукагачинский, 4 — Уиканский, 5 — Тепранканский); 15 — разломы (а — архейские, б — протерозойские); 16 — разломы полихронные; 17 — коллизионные швы.

10), тальк (до 8), магнезит (до 5), кварц, полевой шпат. Содержание P_2O_5 в рудах колеблется в пределах 1.19—8.10 мас. % (среднее 4.6 мас. %).

Апатит в рудах представлен изометричными, угловатыми, реже округлыми зернами размером 0.01—0.05 мм, образующими сплошной зернистый агрегат или рассеянную вкрапленность. В ряде случаев наблюдается гнездовой характер распределения апатита в ассоциации с тремолитом и слюдястыми минералами, слагающими крупные вкрапления среди грубозернистого кварц-диопсидового агрегата.

Лабораторно-технологические испытания (ЦНИИгеолнатур, г. Казань) показали хорошую обогатимость руд (содержание P_2O_5 в концентрате 35 мас. % при извлечении 80 %) по флотационной схеме, при этом апатит-силикатные разности являются легкообогатимыми, апатит-карбонатные — среднеобогатимыми.

По прогнозным ресурсам категории P_3 (53 млн т P_2O_5 при среднем содержании пятиоксида фосфора 15 %) Холболук-Урагинское проявление сопоставимо с крупным месторождением. Минерагенический потенциал всей прогнозной площади оценивается в 400 млн т P_2O_5 .

В пределах карельской части Балтийского щита (рис. 3) зеленокаменные пояса выполнены метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами лопийского комплекса (AR_2), в состав которого входят гимольская, парандовская, тикшозерская и ялонваарская свиты. Пояса трассируют систему сопряженных глубинных разломов мантийного заложения субмеридионального, северо-западного и реже северо-восточного простираний [Рыбаков и др., 1981]. Конкретные структуры представляют собой сжатые синклинали и моноклинали линейной и неправильной формы, разделенные гранитогнейсовыми ареала-



Рис. 2. Схематическая модель Холблок-Урагинской прогнозной площади.

1 — ультраметаморфические образования: гранитогнейсы биотитовые (AR₁); 2—7 — рифтогенные (троговые) вулканогенно-осадочные образования (AR₂), 2 — сланцы биотит-кварц-полевошпатовые, 3 — кварциты, кварцисланцы, кварцевые метапесчаники, 4 — графитсодержащие слюдисто-кварц-полевошпатовые сланцы, метапесчаники, 5 — апатитоносные кальцит-диопсид-амфибол-кварцевые породы, 6 — силлиманит-биотит-кварцевые и амфибол-биотитовые сланцы и гнейсы, 7 — внемасштабные тела скарированных известняков и мраморов; 8 — биотитовые, биотит-мусковитовые граниты (PR₁); 9 — разрывные нарушения; 10 — граница апатитоносной площади.

песчаники, 5 — апатитоносные кальцит-диопсид-амфибол-кварцевые породы, 6 — силлиманит-биотит-кварцевые и амфибол-биотитовые сланцы и гнейсы, 7 — внемасштабные тела скарированных известняков и мраморов; 8 — биотитовые, биотит-мусковитовые граниты (PR₁); 9 — разрывные нарушения; 10 — граница апатитоносной площади.

ми (AR₁ + AR₂). В их разрезе принимают участие вулканогенные (базальты, коматииты, андезиты, риолиты и др.), вулканогенно-терригенные (туфы, туффиты) и осадочные (граувакки, кварциты, карбонаты и т.д.) породы. Региональный метаморфизм протекал в условиях, изменяющихся от зеленосланцевой до амфиболитовой фации низких и умеренных давлений, и носил зональный характер [Миллер, 1978]. В центральных частях поясов проявилась зеленосланцевая фация; в эндоконтактах она сменяется эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фациями.

Апатитовое оруденение ассоциирует с метавулканогенными и метасоматическими образованиями преимущественно в участках пересечения зеленокаменных поясов субширотными зонами протоактивизации, сопровождавшейся внедрением щелочных и щелочно-гранитоидных интрузий. Повышенные содержания апатита (P₂O₅ = 4—7 мас.%) характерны для милонитизированных, карбонатизированных и

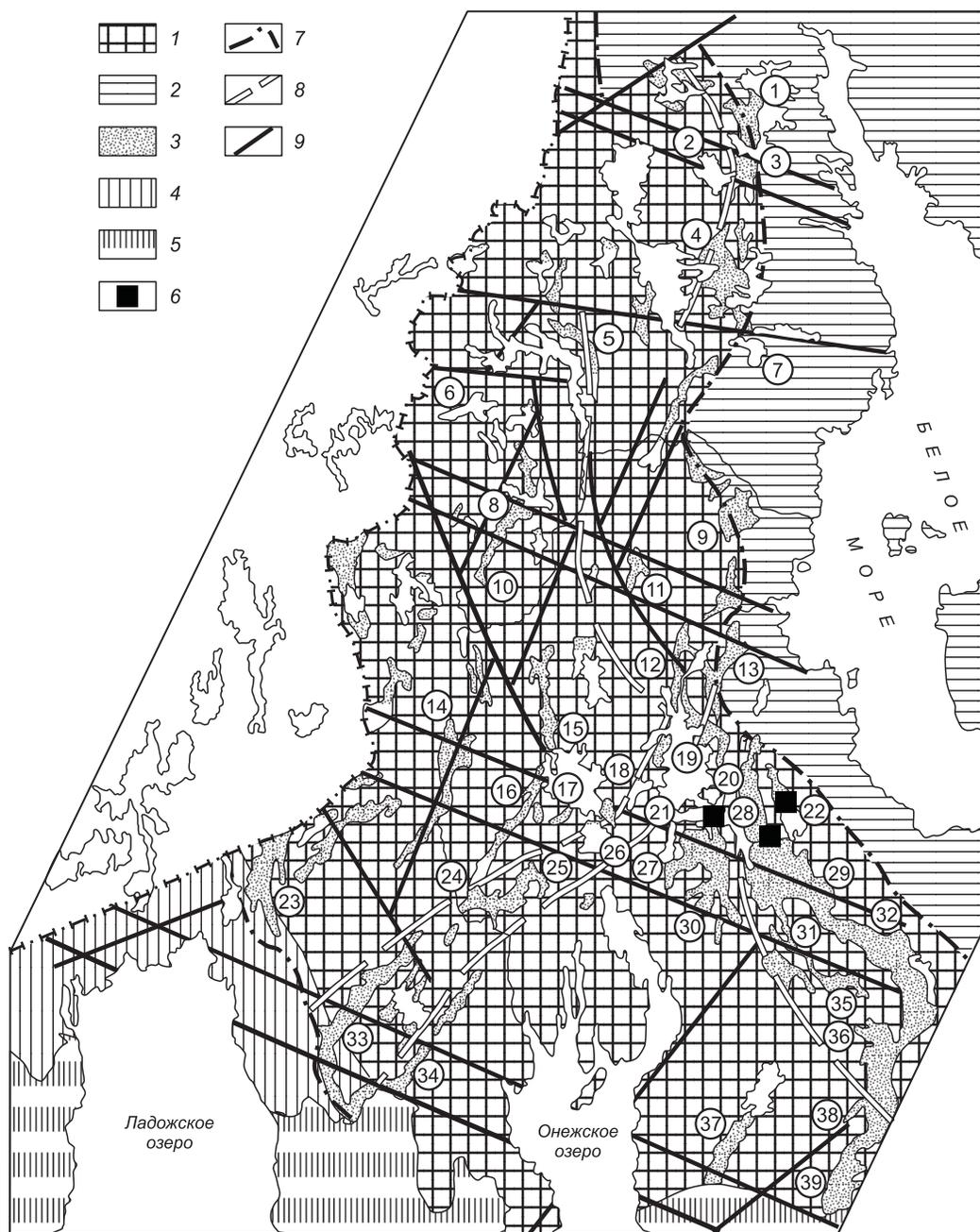


Рис. 3. Схема геологического строения юго-восточной части Балтийского щита, составлена Е.В. Беляевым с использованием материалов [Миллер, 1978; Рыбаков, 1981].

1—6 — тектонические структуры: 1 — Карельский геоблок, 2 — Беломорско-Лапландский пояс, 3 — зеленокаменные прогибы, 4 — Свеко-Карельский пояс, 5 — платформенный чехол, 6 — апатитопоявления; 7—9 — зоны разломов: 7 — межгеоблоковые, 8 — межблоковые, 9 — внутриблоковые.

Номера зеленокаменных прогибов (цифры в кружках): 1 — Нотозерский, 2 — Кукаозерский, 3 — Тикшозерский, 4 — Хизоварский, 5 — Номбозерский, 6 — Костомукшский, 7 — Керетский, 8 — Ньюозерский, 9 — Пебозерский, 10 — Болшеозерско-Хедозерский, 11 — Тунгудский, 12 — Парандовско-Надвоицкий, 13 — Восточно-Идельский, 14 — Гимольский, 15 — Паданский, 16 — Совдозерский, 17 — Бергаульский, 18 — Урусозерский, 19 — Северо-Выгозерский, 20 — Коросозерский, 21 — Шилосский, 22 — Пулозерский, 23 — Ялонваарский, 24 — Семченский, 25 — Палаламбинский, 26 — Сайозерский, 27 — Конжозерский, 28 — Каменноозерский, 29 — Оловозерский, 30 — Рыбозерский, 31 — Сенегозерский, 32 — Кожозерский, 33 — Хаутаваарский, 34 — Киндасово-Маньгинский, 35 — Монастырский, 36 — Янгозерский, 37 — Маткалахтинский, 38 — Волошовский, 39 — Вильельский, 40 — Токминский.

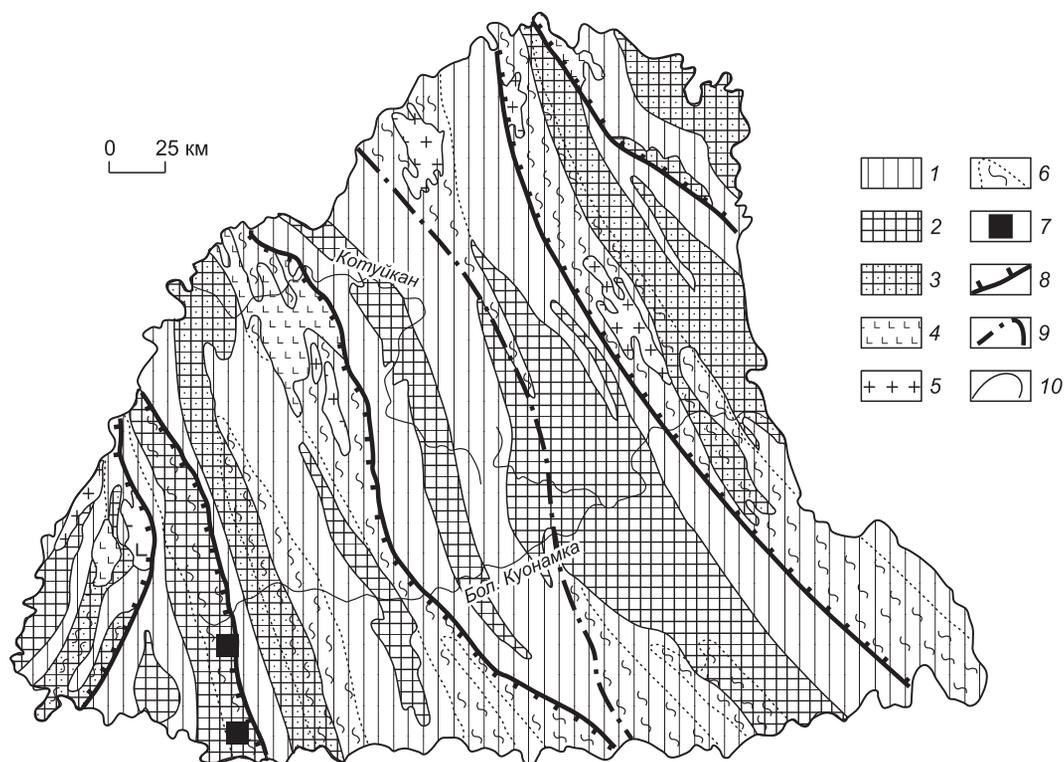


Рис. 4. Схема геологического строения Анабарского кратона, составлена Е.В. Беляевым с использованием материалов [Вишневский, 1978; Шпунта, 1982].

1—4 — архейский структурно-вещественный комплекс (группы супракrustальных образований): 1 — сиалическая (эндербитогнейсовая)—верхнеанабарская серия, 2 — сиалическо-фемическая (далдынская серия и амбардахская толща верхнеанабарской серии), 3 — сиалическая со значительным количеством терригенно-карбонатных пород (хапчанская серия и вюрбюрская толща верхнеанабарской серии), 4 — анортозиты и габбро-анортозиты; 5, 6 — раннепротерозойский структурно-вещественный комплекс: 5 — гранитоиды, 6 — мигматиты, граниты и диафториты амфиболитовой фации; 7 — рудопоявления апатита; 8 — глубинные надвиги; 9 — Анабарский глубинный разлом; 10 — геологические границы.

биотитизированных разностей эффузивных пород (базальты, трахибазальты, трахиандезитобазальты) эндоконтактовых частей структур; отмечаются они также в субвулканических (габбро-долериты, пикритовые порфириты и др.) и пирокластических (туфы, туфолавы, туфопесчаники и др.) породах. Апатитовые проявления известны в пределах Пулозерской, Каменноозерской и Коросозерской структур Сумозерско-Кенозерского пояса; имеются перспективы их открытия в метавулканитах Шилосской структуры Южно-Выгозерского пояса, Сайозерской и Палаламбинской структур Ведлозерско-Сегозерского пояса. Большие площади развития метавулканогенных образований определяют их значительный минерагенический потенциал, оцениваемый для отдельных структур в 70—120 млн т P_2O_5 [Беляев, 1996].

Имеются предварительные сведения о потенциальной апатитоносности зеленокаменных комплексов Анабарского щита. Характерной чертой геологического строения (рис. 4) является наличие мощных линейных мобильно-проницаемых зон, разделяющих его на несколько крупных блоков [Бибикова и др., 1985] и ряд более мелких глыб [Вишневский, 1978]. В конце позднего архея в мобильно-проницаемых зонах произошло заложение зеленокаменных поясов [Шпунта и др., 1982]. Они представляют собой узкие и протяженные грабенообразные структуры, наложенные на зоны смятия и диафтореза и в целом отвечающие их границам. Зеленокаменные пояса выполнены вулканогенно-осадочными породами верхнелаптево-куонанской серии, метаморфизованными в амфиболитовой, реже зеленосланцевой фациях (парагнейсы и амфиболиты).

В верховьях рек Бол. Куонамка и Кукусунда в породах зеленокаменных поясов локализуются метаморфогенно-метасоматические апатитопоявления, приуроченные к зонам поперечных протоактивизационных разломов, секущих мраморы и гнейсы Ильинского зеленокаменного прогиба. Апатитоносные щелочные метасоматиты установлены также в зонах протоактивизации в мраморно-гнейсовых толщах Билляхского прогиба [Вишневский, 1978]. Предполагаемые прогнозные ресурсы площади развития апатитоносных комплексов могут быть оценены по категории P_3 в 80 млн т P_2O_5 .

Таким образом, на территории РФ интрузивные массивы различного состава и возраста с промышленным апатитовым оруденением приурочены к рифтогенным структурам кристаллических щитов и их склонов, что дает основание прогнозировать наличие апатитоносных комплексов также в зеленокаменных (троговых) поясах и прогибах. Наиболее перспективными для их поисков представляются зеленокаменные области Алданского (Чаро-Олекминская) и Балтийского (Карельская) щитов. Известные апатитопоявления прогнозируемого метафосфоритового геолого-промышленного типа приурочены к зеленокаменным прогибам бимодального гомодромного типа и образованы в результате метаморфизма первично-осадочных и эффузивных толщ (AR_2) с рассеянной фосфатной минерализацией. Выделяются апатит-силикатные ($P_2O_5 = 8—20$ мас.%) и апатит-карбонатные ($P_2O_5 = 1—8$ мас.%) минеральные разновидности руд, характеризующиеся хорошей обогатимостью. По масштабам апатитового оруденения прогнозируемые объекты сопоставимы с крупными и средними месторождениями.

ВЫВОДЫ

Вулканогенно-осадочные комплексы зеленокаменных поясов могут явиться новым источником промышленного апатитового оруденения. Решение проблемы перспектив апатитоносности метавулканогенных комплексов должно осуществляться в следующих направлениях.

1. Проведение обзорной прогнозно-минерагенической оценки зеленокаменных областей (в первую очередь Карельской и Чаро-Олекминской) и крупномасштабных прогнозных исследований с выделением перспективных площадей и оценкой прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 . Изучение особенностей формирования и локализации апатитовой минерализации, выявление прогнозно-поисковых критериев месторождений апатита.

2. Постановка поисковых и оценочных работ, тематических исследований на выделенных площадях. Изучение петрологических особенностей апатитоносных и вмещающих пород, вещественного состава и технологических характеристик руд.

Автор выражает искреннюю признательность своему покойному другу и учителю Р.М. Файзуллину за доброжелательное отношение и помощь в работе над поставленной проблемой апатитоносности зеленокаменных поясов.

ЛИТЕРАТУРА

Аксенов Е.М., Вафин Р.Ф., Хайдаров Р.А. Сравнительный формационный анализ троговых структур западной части Патомо-Алдано-Станового щита // Геология и оценка месторождений нерудных полезных ископаемых зоны БАМ. М., Недра, 1990, с. 134—142.

Беляев Е.В. Апатитоносность метавулканогенных зеленокаменных поясов Карелии: постановка проблемы // Метаморфизм вулканогенно-осадочных месторождений. Тезисы докл. международной конференции. Петрозаводск, ИГ КНЦ РАН, 1996, с. 78—79.

Беляев Е.В. Типизация архейских зеленокаменных поясов // Фундаментальные проблемы геотектоники (Материалы XI тектонического совещания). М., Изд-во Моск. ун-та, 2006, с. 236—238.

Бибикова Е.В., Белов А.Н., Грачева Г.В., Розен О.М. Верхний предел возраста гранулитов Анабарского щита // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1985, № 8, с. 19—24.

Вишневский А.Н. Метаморфические комплексы Анабарского щита. Л., Недра, 1978, 213 с.

Миллер Ю.В. Структура архейских зеленокаменных поясов. Л., Наука, 1978, 285 с.

Рыбаков С.И., Светова А.И., Куликов В.С. Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии. Л., Наука, 1981, 154 с.

Файзуллин Р.М., Беляев Е.В., Садыков И.С. Количественные соотношения апатитового оруденения кратонных и рифтогенных рудно-формационных комплексов щитовых провинций // Отечественная геология, 2001, № 2, с. 17—20.

Шпунт Б.Р., Шаповалова И.Г., Шамшина Э.А. Поздний докембрий севера Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1982, 226 с.