

АЗОВСКОЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ УКРАИНСКОГО ШИТА КАК НОВЫЙ ИНВЕСТИЦИОННО ПРИВЛЕКАТЕЛЬНЫЙ ТИП ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.М. Шеремет¹, С.Н. Стрекозов², Л.Д. Сетая¹, Н.Г. Агаркова¹

*1 – Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03142, просп. акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина*

*2 – Приазовская КГРЭ КП «Південукргеологія»
85700, ул. Центральная, 20, г. Волноваха, Украина*

Азовское редкоземельное месторождение Украинского щита на основе ряда характеристических признаков (главные и второстепенные рудные минералы, акцессорные минералы, минералы околорудных метасоматических изменений, геохимические особенности) было сопоставлено с подобными редкометалльно-редкоземельными месторождениями мира, обогащенными иттриевыми REE, HREE и цирконием, связанными с субщелочными гранитоидами. Результаты сопоставления показали, что Азовское месторождение не имеет прямых аналогов (за исключением Ястребецкого рудопоявления УЩ) среди редкоземельных месторождений мира. Вместе с тем, Азовское редкоземельное месторождение – крупное месторождение, запасы полезных компонентов которого превышают запасы редкоземельных руд известных промышленных месторождений Канады и Северной Америки. Предварительная геолого-экономическая оценка Азовского месторождения однозначно показала его промышленное значение. В течение нескольких десятков лет разработка месторождения в зависимости от способа разработки и глубины технологического передела может приносить ежегодную чистую прибыль в десятки миллионов, а за весь период разработки – в несколько сотен миллионов долларов.

Ключевые слова: Азовское редкоземельное месторождение, Украинский щит, геохимия, геолого-экономическая оценка.

Введение. Азовское редкоземельное месторождение Приазовья Украинского щита относится к новому типу редкоземельного оруденения, в котором его главными минералами-носителями служат бритоцит, ортит (алланит) и циркон. Азовский участок сиенитов с цирконом был выявлен в 1980–1985 гг. Приазовской ГРЭ. Поисково-оценочные работы на Азовском участке проводились в 1992–2007 гг. На основании разработанных (ТЭД, 2006) и утвержденных параметров временных кондиций Приазовской КГП подсчитаны запасы категорий С₁ и С₂, оценены перспективные ресурсы категорий Р₁ и Р₂ (Азовское месторождение), а также про-

гнозные ресурсы категории Р₃ (Азовская структура). Окончательная геолого-экономическая оценка Азовского месторождения комплексных цирконий-редкоземельных руд по результатам проведения поисково-оценочных работ была выполнена Украинским государственным геологоразведочным институтом (УкрГГРИ, г. Киев) в 2006 г.

По запасам месторождение относится к крупным. Вместе с тем, до настоящего времени оно не разрабатывается, хотя могло бы полностью удовлетворить потребности Украины в этом виде сырья. Необходимость сопоставления такого месторождения с подобными редкоземельными месторождениями мира, которые в настоящее время разрабатываются, определялась тем, что параметры Азовского месторождения (запасы, содержа-

© Шеремет Е.М., Стрекозов С.Н., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Д., 2017

ние REE) не только сопоставимы с зарубежными месторождениями, но и более привлекательны.

Цель исследований: оценка промышленной значимости и доказательство инвестиционной привлекательности Азовского редкоземельного месторождения путем сопоставления его с известными месторождениями мира.

Сопоставление Азовского редкометалльно-редкоземельного месторождения с подобными месторождениями. Азовское редкометалльно-редкоземельное месторождение относится к месторождениям, связанным со субщелочными калиевыми сиенитами и гранитами, относимыми рядом авторов [6] к габбро-сиенитовой формации. Поэтому сравнение ведется с редкометалльно-редкоземельными месторождениями, связанными с субщелочными гранитоидами, обогащенными иттриевыми REE, HREE и цирконием. Кроме Азовского месторождения на Украинском щите

известно подобное Ястребецкое циркониевое рудопроявление. Из месторождений мира к таким, по мнению ряда авторов (Владыкин и др.), относится Катугинское месторождение в Забайкалье (Россия). По нашему мнению, есть еще группа месторождений подобного типа (ассоциирующих с субщелочными сиенитами и гранитами) в Канаде (Северная Америка) – Тор Лэйк (*Nechalacho*), Стрэндж Лэйк, Кипава Лэйк, Паджарито Маунтейн в Нью Мексико.

Украинский щит. Приазовский мегаблок, Азовское редкоземельное месторождение. Геологическая характеристика по [1]. Азовское месторождение цирконий-редкоземельных руд расположено в восточной части Приазовского мегаблока (восточной окраины УЩ), который на западе отделен от Среднеприднепровского мегаблока субмеридиональной Орехово-Павлоградской шовной зоной ОПШЗ (рис. 1).

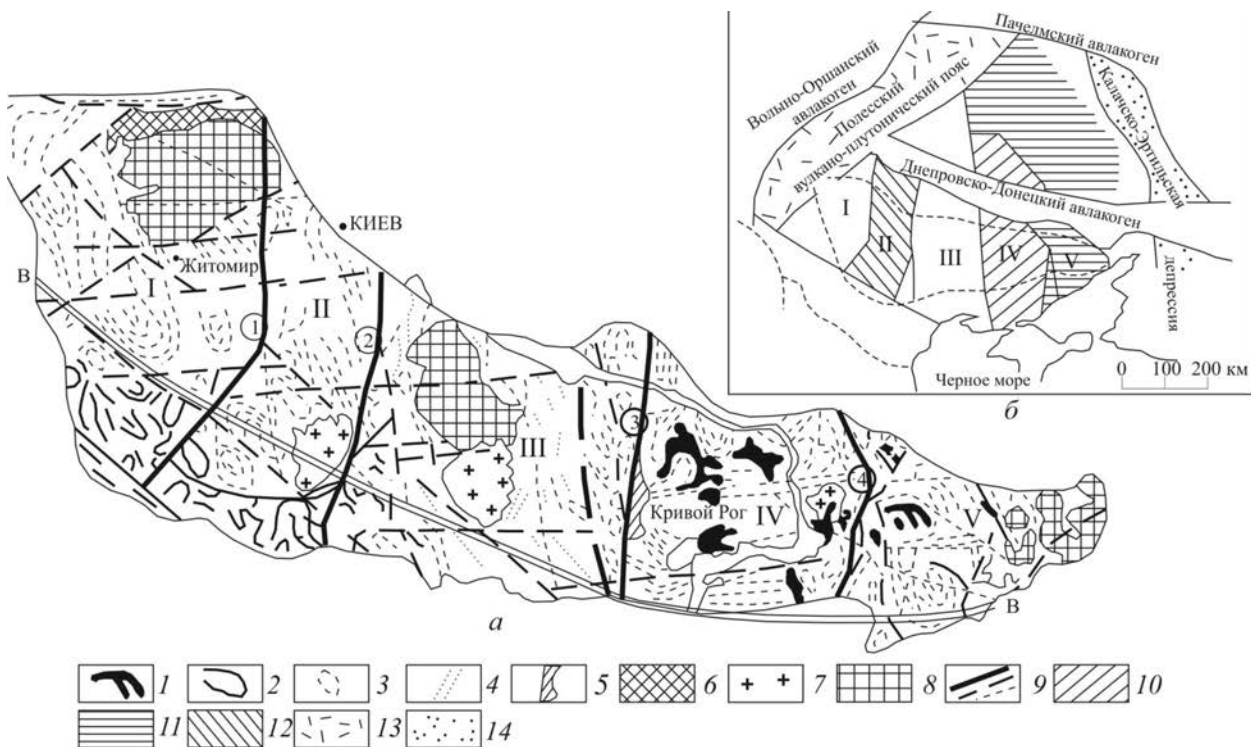


Рис. 1. Тектоническая схема Украинского щита (а) и юго-западного сегмента Восточно-Европейской платформы (б) [14]. Мегаблоки (римские цифры на схемах): I – Волыно-Подольский; II – Белоцерковско-Среднебугский; III – Кировоградский; IV – Среднеприднепровский; V – Приазовский. Шовные зоны (цифры в кружках): 1 – Немировско-Кочеровская; 2 – Голованевско-Ядлово-Трактемировская; 3 – Ингулецко-Криворожская; 4 – Орехово-Павлоградская. Гранитоидные и метаморфические комплексы: 1 – гранит-зеленокаменные архейские, 2 – гранулит-чарнокитоидные, 3 – нерасчлененные архей-протерозойские, 4 – палеопротерозойские; структурно-формационные зоны: 5 – Криворожско-Кременчугская, 6 – Овручская; большие массивы: 7 – гранитов, 8 – габбро-рапакивигранитов, сиенитов и граносиенитов; 9 – разломы разных порядков; 10–12 – микроконтиненты протоостроводужного происхождения – архейские гранит-зеленокаменные области разных генераций; структурно-вещественные комплексы окраин Сарматии: 13 – вулканоплутонические (клесовская серия, осницкий комплекс), 14 – метатерригенно-вулканогенные (воронцовская серия) и магматические (перидотит-габбро-нориты мамонского комплекса)

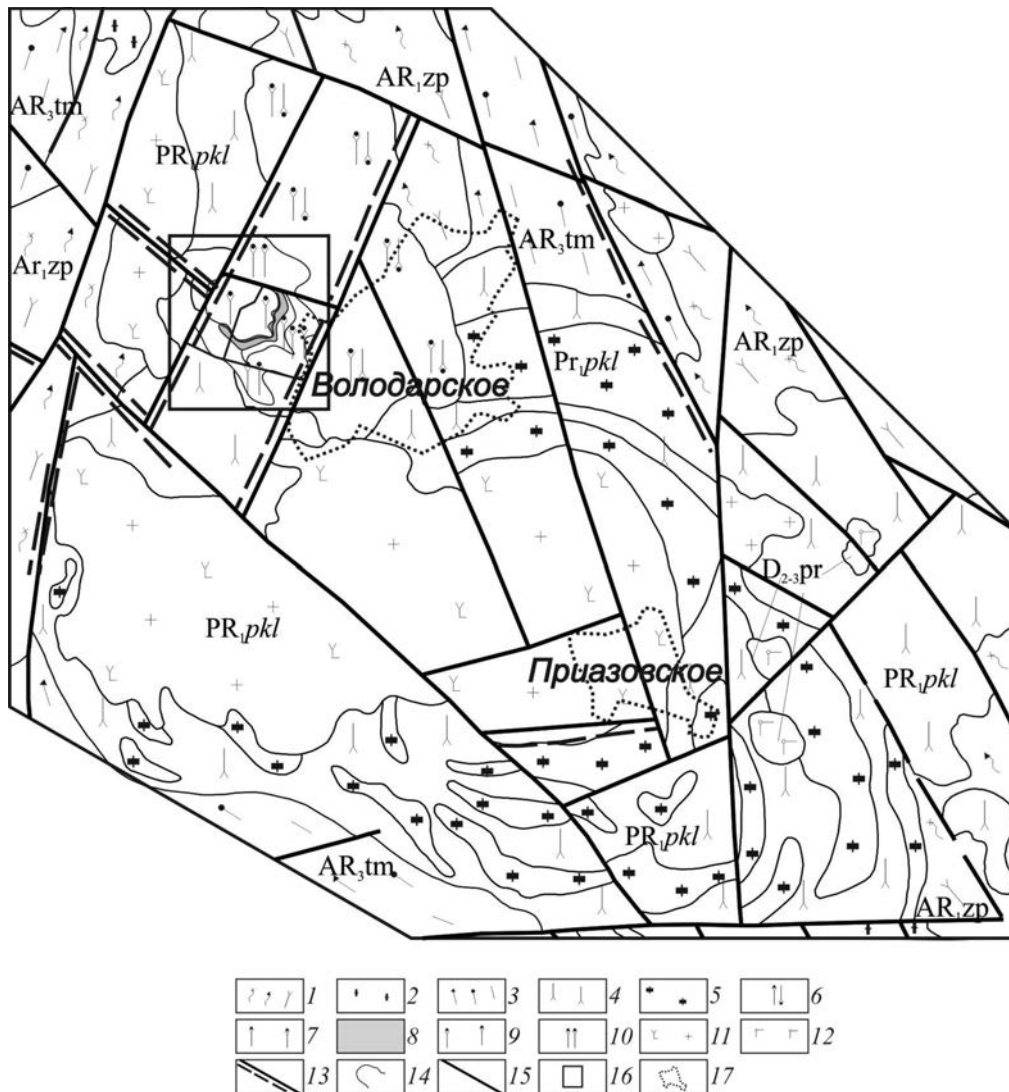


Рис. 2. Геологическая карта домезозойских образований Володарского массива (по материалам Приазовской КГП): 1–3 – метаморфические породы западно- и центральноприазовской серий (AR_{1,zp}, AR_{2,tm}); 4–11 – интрузивные породы южнокальчикского комплекса (PR_{1,pkl}): сиениты (4) и монцитониты (5) первой фазы, «однородные» сиениты второй фазы (6), однополевошпатовые лейкократовые (7), такситовые (8), такситовые с кварцем (9) и двухполевошпатовые (10) сиениты третьей фазы, граниты и граносиениты четвертой фазы (11); 12 – интрузивные породы приазовского комплекса (D_{2-3pr}); 13 – тектониты нерасчлененные; 14 – границы стратифицированных и нестратифицированных подразделений; 15 – разрывные нарушения; 16 – граница Азовского участка; 17 – границы населенных пунктов

Азовское месторождение цирконий-редкоземельных руд расположено в пределах одноименного штока, образованного расслоенными интрузиями сиенитов среди пород Володарского массива южнокальчикского комплекса. Породы южнокальчикского комплекса имеют локальное распространение в Приазовье. Они образуют сближенные Кременевский и Володарский массивы, первый из них находится в долине р. Кальчик, южнее с. Кременевка, а второй занимает округлый (изометрический) водораздел между мелкими центробежно направленными водотоками в районе пгт Володарское (рис. 2).

Строение Азовского месторождения. Азовская структура в плане представляет собой зонально-кольцевой эллипс площадью 3,8 км² меридионального простирания (рис. 3).

В геолого-структурном плане одноименное месторождение расположено в южной и юго-восточной частях Азовской структуры среди пород Володарского массива. В разрезе сиениты формируют трубообразное интрузивное тело (шток), приуроченное к узлу пересечения разломов меридионального, северо-западного и субширотного простирания [4]. Сиенитовый шток разбурен на глубину свыше 350 м, но, судя по геофизическим

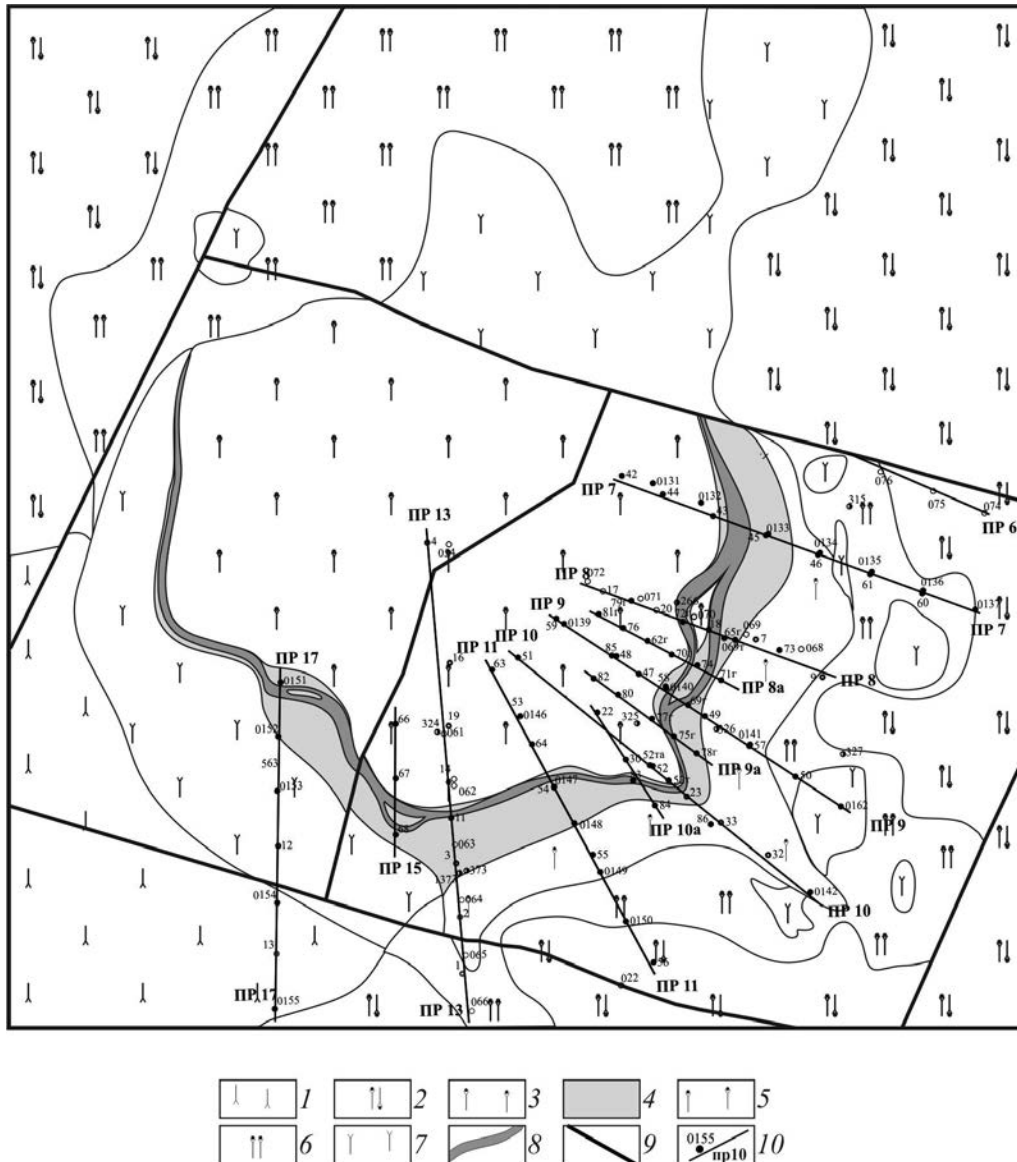


Рис. 3. Геологическая карта Азовского участка Володарского массива (по материалам Приазовской КГП): 1–7 – сиениты южнокальчикского комплекса (ПР_{пкл}): сиениты первой фазы (1), «однородные» сиениты второй фазы (2), однополевошпатовые лейкократовые (3), такситовые (4), такситовые с кварцем (5) и двуполевошпатовые (6) сиениты третьей фазы (7); 8 – пластовые тела рудных сиенитов с редкометалльной минерализацией; 9 – разрывные нарушения; 10 – геологоразведочный профиль, его номер, скважина, ее номер

данным, его глубина достигает нескольких километров. Рамой для штока служат сиениты второй интрузивной фазы Володарского массива, однородные в текстурно-структурном отношении и по составу. Сам шток сложен сиенитами третьей интрузивной фазы Володарского массива. В Азовской структуре выделены центральная часть, внутренняя и краевая зоны (см. рис. 3).

Центральную часть штока занимают лейкократовые сиениты с высокожелезистым биотитом, щелочнополевошпатовые. Локально лейкосиениты обогащены кварцем (до 20 % и более),

вплоть до образования граносиенитов и гранитов, а также флюоритом (до 15 %). Иногда как отдельная минеральная фаза встречается альбит. Основную массу составляют несколько деформированные кристаллы щелочных полевых шпатов (ЩПШ) размером от 2–3 до 10 см, между которыми находятся другие минералы. Эти же минералы зафиксированы внутри кристаллов.

В центре Азовской структуры находится тело кварц-лепидомелановых сиенитов, также эллипсоидное, однако простирается его северо-западное. На периферии ядра лепидомелана (аннита),

сменяются амфиболом, а количество кварца уменьшается.

Внутренняя дуговая зона конических разломов представлена меланократовыми сиенитами вокруг лейкократового ядра. Многочисленными скважинами вскрыты темные моношпатовые (анортоклаз-микропертит) породы с сильножелезистыми минералами – амфиболом (гастингсит), оливином (фаялит), пироксеном (геденбергит), слюдой (аннит) и полевым шпатом. Меланосиениты характеризуются неоднородной окраской («пятнистые» сиениты), неравномерным распределением фемических минералов («такситовые» сиениты) и изменчивой зернистостью.

Собственно Азовское цирконий-редкоземельное месторождение приурочено к «такситовым» породам в экзоконтакте тела биотитовых кварцевых сиенитов на юге и юго-востоке контакта в лежачем боку тела. Структурный контроль проявляется в том, что основная часть руд приурочена к зоне контакта с кварцевыми биотитовыми сиенитами. Рудные тела конформны поверхности контакта, с удалением от контакта продуктивность циркон-редкоземельных руд уменьшается, преобладают циркониевые руды.

Петрографические и акцессорно-минералогические особенности оруденения. По содержанию SiO_2 такситы, по сравнению со щелочноземельными сиенитами, более основные (58–60 и 60–62 % SiO_2 соответственно), что отражает их меланократовый характер. Более обогащены SiO_2 лейкократовые сиениты с лепидомеланом (аннитом). Таким образом, по содержанию SiO_2 и щелочей, сиениты Азовского месторождения соответствуют обычным сиенитам или кварцевым сиенитам. Содержание суммы щелочей ограничено интервалом 10–11 % для всех разновидностей сиенитов. По содержанию железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - 4-7\%$) щелочноземельные и щелочные сиениты с лепидомеланом мало отличаются. Такситовые сиениты существенно обогащены железом за счет большого количества фемических минералов. В рудоносных горизонтах содержание оксидов железа колеблется от 10 до 17 %, что совсем не характерно для обычных и щелочных сиенитов. Среднее содержание кальция в сиенитах Азовского штока около 3 %.

Среднее содержание P_2O_5 в сиенитах Азовского штока составляет примерно 0,04 % и резко возрастает в фаялит-геденбергит-гастингситовых сиенитах такситовой текстуры (до 0,25 % P_2O_5).

Содержание рудных минералов в рудных телах до 5–10 %, размер их зерен превышает 3–

5 мм. Рудные минералы, особенно циркон и бритолиит, легко диагностируются по цвету и четко отличаются от порообразующих. Все это позволяет достаточно надежно оконтурить границы рудных участков и выделить прожилки, пятнистые, тонко-, грубо- и гнездово-вкрапленные рудные скопления, а также пойкилобластовые вроски в фемических минералах. В таких скоплениях содержание REE_2O_3 превышает 0,4–0,5 %, а за их пределами – 0,10–0,25 %. Мощность промежуточной зоны с содержанием REE_2O_3 0,25–0,40 % обычно не превышает 1–3 м. Рудные тела в большинстве случаев выклиниваются внезапно, будто обрезаются, без изменения мощности тела.

Оруденение Азовского штока имеет такие особенности:

1. Оруденение образует пластоподобную залежь, приуроченную к границе лейкосиенитов с меланосиенитами. Богатые руды в залежи чередуются с безрудными прослоями небольшой мощности в середине залежи.

2. Циркон и минералы REE (бритолиит, ортит) кристаллизовались в рудоносных сиенитах в числе первых.

3. Минералы с наибольшим удельным весом (магнетит, циркон) тяготеют к нижней части рудной залежи, отражая наличие кумуляции и дифференциации вещества в процессе формирования руды. Распределение редкоземельных минералов не подчиняется определенным закономерностям. Как следствие, циркониевое оруденение приурочено к средней и нижней частям залежи, а редкоземельное неравномерно распространено по всей рудоносной толще.

4. Корреляция содержания оксидов циркония и REE в рудных залежах отсутствует (коэффициент корреляции менее 0,25).

5. Вследствие автometасоматических процессов ортит-бритолиит-циркониевые руды были преобразованы в бастнезит-циркониевые.

Азовское месторождение с полным правом можно отнести к месторождениям комплексного типа, что обусловлено двухкомпонентным составом руд.

Характеристика рудных минералов. Бритолиит $\text{Ca}_3\text{REE}_2[\text{SiO}_4]_3(\text{F}, \text{OH})$ – главный концентратор REE и Y на Азовском месторождении, находится в тесной ассоциации с другими минералами REE – ортитом (алланитом), чевкинитом, бастнезитом, монацитом. Типичен также парагенезис бритолиита с цирконом, хотя максимумы концентрации этих минералов не совпадают.

Из результатов зондового анализа (см. табл. 3.1 в [1]) следует, что бритолит Азовского месторождения относится к фтористой разновидности. Содержание P_2O_5 колеблется от 1,3 до 12,5 %, содержание SiO_2 – в пределах 22–13 %, в значительной степени колеблется содержание CaO и $REE_2O_3 + Y_2O_3$. Высокое содержание P_2O_5 характеризует бритолит Азовского месторождения как фосфатную разновидность. Содержание $REE_2O_3 + Y_2O_3$ в бритолитах изменяется от 41 до 58 %.

Содержание отдельных лантанидов в бритолите в целом снижается в ряду $Ce > Nd > La > Pr > Sm$. Минимальные значения (десятые и сотые доли процента) получены для оксидов Tb , Tm и Lu . Содержание Gd , Dy , Ho , Er , Yb колеблется более значительно, так же, как и содержание Eu . Среднее значение европиевой аномалии (Eu/Eu^*), как отношение концентрации Eu к среднему геометрическому значению концентрации соседних элементов, колеблется от 0,02 до 1,50. В рудоносных сиенитах этого месторождения спектры REE характеризуются глубиной (0,06) отрицательной европиевой аномалией (рис. 4) [6].

Ортит (алланит) – второй по распространенности редкоземельный минерал Азовского месторождения. Иногда он составляет третью часть всех редкоземельных минералов. Так же, как бритолит, он образует спорадические выделения неправильной формы. Кроме выделений, ортит образует сростки с бритолитом, формируя кайму разной ширины (до 1/5 размера кристалла) вокруг кристаллов последнего. Обычно это кайма анизотропного ортита вокруг зерен метамиктного бритолита.

Химический состав ортита довольно специфический. В нем практически нет Mg , и резко преобладают элементы Fe и лантанидов цериевой

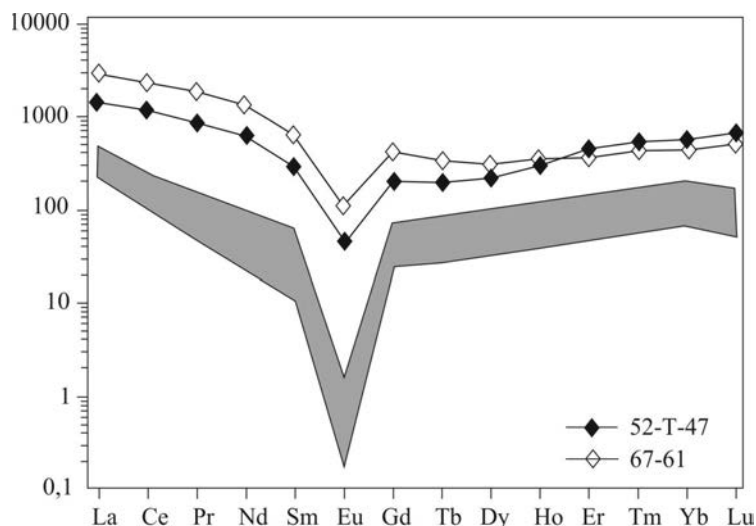
группы. Это высокожелезистая разновидность ортита, в которой роль Mg принадлежит Fe^{2+} . Содержание Th в ортите на порядок меньше, чем в более раннем бритолите.

Циркон – один из главных рудообразующих минералов месторождения и фактически единственный минерал Zr . Главная масса циркона сконцентрирована в меланосиенитах на некотором расстоянии от контакта с лейкосиенитами. Как правило, он образует хорошо ограненные кристаллы, в среднем размером 2–3 мм, около 10 % кристаллов достигает 10–15 мм. Циркон слишком часто, чтобы считать это случайностью, встречается вместе с флюоритом, образуя тесные парагенетические сростки.

Ассоциацию циркон + флюорит нередко дополняют бритолит или апатит. Либо циркон и бритолит / апатит образуют отдельные твердые включения в одном и том же кристалле флюорита, либо парагенетические сростки циркон + бритолит + флюорит находятся в виде включений в породообразующих минералах, а также между ними. Значительная концентрация циркона не всегда сопровождается большим количеством бритолита, т. е. циркониевое и редкоземельное оруденение в целом пространственно разобщены.

Состав циркона обусловлен изоморфными и минеральными примесями, причем некоторые элементы (Th , Y , P) могут входить и в структуру циркона, и в состав минеральных включений в цирконе. Содержание Nb достигает 1–2 % и более, распределение его по площади кристалла крайне неравномерное. Это касается и Th , который иногда образует свой минерал – ураноторит. Установлены участки с аномально высоким содержанием Nb , Ti , Fe , Ce , Sc .

Рис. 4. Хондритнормированные спектры REE в рудных сиенитах Азовского месторождения [6]. Серое поле – хондритнормированные спектры REE в сиенитах Ястребецкого массива



Бастнезит $\text{CeF}[\text{CO}_3]$ в сиенитах Азовского штока встречается часто и является здесь главной вторичной фазой псевдоморфного бритолита. В феррогастингите из «такситов» размер псевдоморфных кристаллов и «овоидов», обогащенных бастнезитом, достигает 1–3 см. Аналогичные вкрапления содержатся в полевошпатовой части «такситов». В свое время руду, почти на 100 % сложенную бастнезитом, считали первичной. Бастнезит и редкий синхизит также образуют включения в кристаллах циркона и флюорита. Изредка в рудах попадаются тонкие карбонатные прожилки, сложенные главным образом бастнезитом. Содержание ThO_2 колеблется от 0,3 до 1,4 %, что соответствует его содержанию в неизменном бритолите. Значительно увеличенное содержание Fe_2O_3 , вероятно, оказывается результатом взаимодействия с постмагматическими флюидами.

Минералого-геохимические предпосылки извлечения рудного концентрата. В рудной зоне, так же, как и во всей толще сиенитов, доминирует ШППШ (56–69 %). Второе место занимают силикаты железа – пироксены, амфиболы, слюды (19–34 %), третьи – рудные минералы. Суммарное их содержание может достигать 50 % и даже больше, хотя более распространено содержание на уровне 1–5 % для каждого.

Поскольку циркон – единственный минерал-концентратор Zr на всех горизонтах, выбор технологической схемы регулируется оптимальными условиями удаления ZrO_2 из циркона и определяется размером кристаллов и их трещиноватостью.

Для REE такая однозначность отсутствует. В первых, непостоянен состав REE, во-вторых, концентраторами REE служат сразу несколько минералов – бритолит, бастнезит и ортит (алланит), соотношение между которыми колеблется в широких пределах. Особенно между бритолитом и бастнезитом, которые, по сути, исключают друг друга.

Во время лабораторных исследований и технологических испытаний были проверены разные варианты схем обогащения с использованием гравитационных, магнитных и флотационных методов. Во всех случаях базовой частью технологической схемы было магнитно-гравитационное обогащение руды, причем магнитные методы использованы для получения REE-концентрата, а гравитационное обогащение – для получения Zr-концентрата из немагнитной фракции зернистого материала.

Оценка запасов и прогнозно-перспективных ресурсов. По результатам исследований проб

УкрГГРИ были рекомендованы временные кондиции: переводной коэффициент для приведения ZrO_2 к условному окислу REE (YO REE) – 0,12; бортовое содержание YO REE – 0,45 %; минимально-промышленное содержание YO REE в блоке – 0,68 %; минимальная мощность рудного тела – 5 м. Геолого-промышленный тип – ортит-бритолит-бастнезит-цирконовый в сиенитах.

Запасы месторождения, тыс. т: – $\Sigma\text{TR}_2\text{O}_3$ категории $C_1 - 98, C_2 - 263, C_1 + C_2 - 361$; ZrO_2 – категории $C_1 - 141, C_2 - 409, C_1 + C_2 - 550$; полевошпатовое сырье – $C_1 + C_2 - 6\ 685$.

Прогнозные и перспективные ресурсы, тыс. т: $\Sigma\text{TR}_2\text{O}_3$ категории $P_1 + P_2 - 228,8, P_3 - 117,9$; ZrO_2 – категории $P_1 + P_2 - 201$ тыс. т, $P_3 - 1\ 280,7$.

Запасы, прогнозные и перспективные ресурсы приняты Госгеолслужбой.

Северо-Западный мегаблок. Особенности сиенитов Ястребецкой интрузии. *Общая характеристика.* Сиенитовая интрузия, известная как Ястребецкий массив [7], расположена в Сушано-Пержанской тектонической зоне Волынского мегаблока УЩ, на пересечении Ястребецкого, Пержанского и Плотницкого разломов. Это овальный шток, вытянутый с юго-востока на северо-запад, площадью около 4 км². Геологическое строение Ястребецкого массива исследовано скважинами глубиной 200–1500 м. Общая характеристика массива, петрографическая и минералогическая характеристика сиенитов даны в ряде публикаций [7, 9, 10 и др.], где доказано, что Ястребецкий шток – это расслоенная интрузия сиенитов. По ряду характеристик различают верхнюю, центральную (так называемое кварцевое ядро) и главную расслоенные серии. Верхняя серия существенно лейкократовая, а центральная обогащена кварцем и, участками, щелочными фемическими минералами. В каждой серии структура породы изменяется от среднезернистой (преобладает) до пегматоидной (редко). Также изменяется соотношение фемических минералов и щелочного полевого шпата. Незакономерное чередование меланократовых и лейкократовых слоев, состав которых не коррелирует со структурой породы – характерная особенность интрузии. Важным моментом является наличие эндоконтактной зоны, сиениты которой отличаются по структуре и минеральному составу. Это типичный шток гиперсольвусных сиенитов.

Интрузия рудоносна, обогащенные цирконном слое размещены на глубине от 500 до 1000 м.

Несколько горизонтов в этом интервале, мощностью от 1–2 до 7–8 м, представляют собой богатые циркониевые руды, содержащие 5–10 % циркона. Отдельные прослои мощностью от 1–2 до 15 см обогащены цирконом до 50–60 %.

Возраст, определенный по изохронам циркона, оценен в (1720 ± 40) млн лет [10]. Недавние определения возраста в австралийском университете по пробе циркона, предоставленной С.Г. Кривдиком, показали значение 1772 ± 6 млн лет, что несколько меньше, чем для Азовского месторождения (1803 ± 6).

Характеристика породообразующих, рудных и акцессорных минералов. В сиенитах доминируют четыре минерала: щелочной полевой шпат, геденбергит, гастингсит (феррогастингсит) и лепидомелан (аннит). Перечень второстепенных, акцессорных и редких минералов намного длиннее (табл. 6.2 в [1]). Основной акцессорный минерал – циркон, который на отдельных участках (в слоях) становится породообразующим. Слоистое распределение циркона в породе служит показателем ритмической расслоенности Ястребецкой интрузии. С поствагматическими процессами связана низкотемпературная минерализация – замещение первичных фаз (автометасоматоз) и кристаллизация новых минералов в полостях.

Циркон. Распределение циркона крайне неравномерное. Его содержание в зоне эндоконтакта близко к среднему в Ястребецкой интрузии (0,2–0,3 %). Идиоморфные кристаллы циркона образуют включения во всех породообразующих минералах.

Циртолит, как разновидность циркона, является постоянным спутником последнего во всех расслоенных сериях Ястребецкого штока. Непрозрачный циртолит содержит преимущественно торий (несколько процентов) и тяжелые REE, содержание которых увеличивается с уменьшением глубины.

Бритолит и апатит. Акцессорный апатит встречен в эндоконтактовых сиенитах (в кристаллах 2,4 % REE₂O₃). В породах главной серии апатит не наблюдался, вместо него кристаллизуется бритолит, который не принадлежит к распространенным минералам [8]. Возможно, это связано с общим их обеднением фосфором. Часть бритолита сингенетична циркону.

Ортит (алланит). В породах сиенитового штока распространены ксеноморфные выделения ортита в интерстициях главных минералов. Также ортит тонкой каймой окружает кристаллы брито-

лита. Ксеноморфный ортит более распространен в сиенитах, обогащенных щелочами и трехвалентным железом.

Флюорит. В ястребецких сиенитах флюорит – один из самых распространенных акцессорных минералов, который присутствует в разных сериях и горизонтах интрузии. Наибольшая концентрация флюорита приурочена к лейкократовой центральной серии, обогащенной кварцем, эгирином и щелочными амфиболами.

Концентрация La и Y во флюоритах постепенно возрастает от сиенитов главной серии до рибекитовых сиенитов центральной (Y на порядок). Содержание Ce постоянно. Наибольшая концентрация Y – во флюоритах с прожилками в эгириновых сиенитах [7].

Фтор-карбонаты являются главными продуктами преобразования бритолита. Бастнезит и сопутствующий ему паризит встречаются в различных ассоциациях.

Хотя Азовское месторождение во многих отношениях неповторимо, в пределах УЩ известны обогащенные Zr и лантанидами сиениты, подобные или идентичные одноименным породам этого месторождения. Ястребецкий сиенитовый массив (и одноименное рудопроявление Zr) – это почти полный аналог Азовского. Однако на Ястребецком месторождении рудной концентрации REE и Y еще не выявлено, а богатые циркониевые руды залегают на значительной глубине (550–1050 м). Более бедные и маломощные тела (0,4–1,0 % ZrO₂) обнаружены и вблизи поверхности, но, вероятно, оруденение на малой глубине имеет значительно меньшие масштабы.

Месторождения мира. Россия. Катугинское редкометалльно-редкоземельное месторождение.
Геологическая характеристика. Катугинский массив щелочных гранитов расположен в южной части Западного Алдана (Восточная Сибирь) в Каларском хребте. Его возраст, по данным [5], составляет 2055 ± 7 млн лет. Массив состоит из двух выходов – Западного и Восточного. Согласно [2], площадь выхода щелочных гранитов Восточного тела (Катугинского месторождения) составляет около 2,8 км². Разломом северо-восточного направления тело разбито на два блока: Западный и Восточный. Восточный блок приподнят относительно Западного на 400 м. Мощность щелочных гранитов на участке сочленения блоков около 600 м, в Западном блоке – более 800 м (скважины не вышли из них). Западное тело щелочных гранитов протягивается в широтном

направлении. Ширина его 0,5–2 км, длина около 10 км. Видимая мощность – 250–900 м. Большая часть тела перекрыта четвертичными отложениями. Восточный массив разделен еще на два блока. Оба тела имеют зональное строение, причем ориентировка их контактов и плоскостей разных по текстуре фациальных разновидностей пород преимущественно согласная.

Петрографическая характеристика. Согласно [3], редкометалльные щелочные граниты Катугинского массива – это среднезернистые породы массивной структуры. Встречаются и порфиридные разновидности с вкрапленниками калиевого полевого шпата. Граниты сложены кварцем, микроклином, альбитом. Фемические минералы (арфведсонит, эгирин, фтораннит, астрофиллит) присутствуют в значимом количестве. Основные рудные минералы – пироклор, циркон, REE-фториды и криолит. Среди гранитоидов катугинского комплекса выделяются биотитовые, биотит-амфиболовые (биотит-рибекитовые), арфведсонитовые, эгирин-арфведсонитовые и эгириновые разности. Второстепенные минералы – редкометалльные циркон и пироклор. По химическому составу граниты агапитовые, коэффициент агапитности (Ка) до 1,4. Встречаются разновидности гранитов с $Ca = 1$, со слюдой лепидомеланового состава.

Щелочные граниты насыщены летучими компонентами (F) щелочами и редкими элементами, поэтому их магма реакционна, и на контакте с вмещающими гнейсами образуются зоны фенитов размером до 1 м. Акцессорная минерализация фенитов представлена торитом и флюоритом, в отличие от самих гранитов. Остаточный от кристаллизации щелочных гранитов расплав-флюид образует широкообразное тело в апикальной части Восточного массива, сложенное криолитом, гагаринитом, другими щелочными фторидами и полевыми шпатами, а темноцветные минералы представлены арфведсонитом и лепидомеланом. Подтверждением магматического генезиса гранитов может быть и раннемагматическое образование циркона и пироклора. В Катугинском массиве наблюдается аномальное явление – отсадка ранних кристаллов циркона и пироклора. В отвалах штольни обнаружены образцы мелкополосчатых гранитов, полосы которых сложены зернами циркона – до 50 % объема породы. Эти полосы образовались при отсадке кристаллов раннего циркона. Вместе с цирконом встречаются зерна пироклора и ильменита. В другом месте обнаружено горизонтальное

тело, размером до 1 м, сложенное на 95 % отдельными ограниченными зернами (кубооктаэдрами) пироклора. Кроме пироклора тут есть и отдельные зерна циркона [3].

Акцессорная минерализация. Согласно [2], в биотитовых разностях пород встречены колумбит, колумбитизированный пироклор, монацит, существенно иттриевый редкоземельный флюорит, малакон и малаконизированный циркон, апатит, магнетит, ильменорутил, роуландит, а на обогащенных микроклином участках еще и фергусонит. Для амфиболовых разностей типичны пироклор, циркон, флюоцерит, ильменит, криолит, гагаринит, более цериевый редкоземельный флюорит. В эгирин-амфиболовых породах обычны гидратированный, обогащенный свинцом пироклор; циркон, ильменит, гагаринит, криолит гематит. В слюдяных разностях пород – фосфаты, простые окислы, простые фториды, содержащие P, Y, REE (главным образом иттриевые).

Рудная минерализация. Согласно [5], исследование состава рудных минералов позволило выделить и детально обосновать три основных типа рудной минерализации гранитоидов.

1. *Циркониевая минерализация.* Цирконы содержатся во всех породах массива – от редких акцессорных кристаллов до гнездовых скоплений с общим содержанием минерала до 15–20 % от объема породы. Размеры выделений циркона – от долей миллиметра до 1,5 см. В большинстве случаев циркон насыщен разнообразными мелкими (2–15 мкм) включениями. Среди включений отмечены бастнезит, флюоцерит, гагаринит, твейтит, иттрофлюорит, флюорит, торит, криолит. В целом же отмечается явное преобладание фторидов.

2. *Ta-Nb-REE минерализация.* Минералы этого типа концентрируются преимущественно в краевых частях массива. Они встречаются: а) в виде отдельных зерен, их скоплений и рудных сростков в гранитах; б) в виде включений в цирконе; в) в виде интерстиций в силикатных минералах. Отдельные кристаллы или их скопления наиболее характерны для пироклора. В кайме присутствуют бастнезит, колумбит, флюоцерит и продукты гидратирования пироклора. В рудных сростках могут быть разные минералы, чаще всего пироклор, колумбит, флюоцерит, ильменит, иногда сульфиды (сфалерит, галенит, пирротин или пирит). Интерстициальные выделения сложены фторидами и фторкарбонатами, нередко с небольшим количеством хлорита, и имеют весьма сложную структуру. В основной массе преоблада-

ет твейтит с многочисленными мелкими ориентированными включениями флюоцерита или раннего бастнезита. Бастнезит развивается по фторидам, образуя прожилки и скопления, иногда – симплектиты с хлоритом.

3. *Алюмофторидная минерализация.* Криолит обычно встречается в виде небольших обособлений в гранитах и слагает относительно мощные жилы или линзы (до 30–50 % криолита). Он ассоциирует с алюмофторидами и фторидами.

Температура формирования. Результаты термобарогеохимических исследований щелочных гранитов катугинского комплекса показали, что такие минералы как циркон, плагиоклаз, кварц, пироклор и арфведсонит содержат сингенетичные расплавленные включения. Температура гомогенизации расплавленных включений, обнаруженных в цирконе, составляет 760–780 °C [3].

Геохимическая характеристика. Типичные элементы – Ta, Nb, Zr, Hf, Zn, Y, TR, Th, V, Li, Be, Rb, Mo, Pb, Sn, а также F – концентрируются в основном в аксессуарных и второстепенных минералах: в пироклоре, колумбите, фергусоните (Ta, Nb), цирконе (Zr, Hf), гагарините, флюорите, пироклоре, фергусоните (Y, TR), сфалерите (Zn), гадолините, бенаките, берилле (Be), галените (Pb), молибдените (Mo) и др., и лишь отдельные элементы в породообразующих минералах – Rb в микроклине, Li – в слюдах.

Согласно [5], на графике распределения редких элементов в щелочных гранитах катугинского комплекса наблюдаются хорошо выраженные отрицательные аномалии Ba, Sr, Eu и положительные аномалии Th, U, Nb, Ta, Zr и Hf. Для распределения REE в щелочных гранитах катугин-

ского комплекса характерно умеренное обогащение легкими REE ($[La/Yb]_n = 3,40–5,30$), иногда с положительной Ce-аномалией, пологий наклон графика распределения тяжелых REE ($[Gd/Yb]_n = 1,10–1,69$) и отрицательные Eu-аномалии ($Eu / Eu^* = 0,13–0,19$). Степень обогащения несовместимыми элементами увеличивается при переходе от биотитовых и биотит-амфиболовых к амфибол-эгириновым и эгириновым гранитоидам. Спектры редкоземельных гранитов, согласно [3], приведены на рис. 5. Щелочные редкометалльные граниты имеют почти одинаковый спектр TR с малым наклоном кривых спектра и с характерным Eu минимумом. Наивысшие концентрации TR характерны для пироклоровой залежи и флюид-гидротермальных пород с криолитом и гагаринитом (два верхних графика). Приконтактные фениты по гнейсам и сланцам имеют более низкое содержание TR, чем в гранитах (три нижних графика), а линии спектра у них аналогичны гранитным, что свидетельствует о том, что источником TR были сами граниты.

Редкометалльно-редкоземельные месторождения Северной Америки и Канады [12]. *Месторождение Тор Лэйк (Канада)* – это наиболее значимое по запасам REE из связанных с субщелочными сиенитами и гранитоидами месторождений. Редкоземельные минералы представлены алланитом, бастнезитом, фергусонитом, ксенотимом, в меньшей степени монацитом, паризитом и синхезитом [13].

Согласно [16], в середине 2005 г. компания *Avalon* начала переоценку экономического потенциала месторождения Тор Лэйк (*Thor Lake*) с фокусированием на REE. Анализ результатов под-

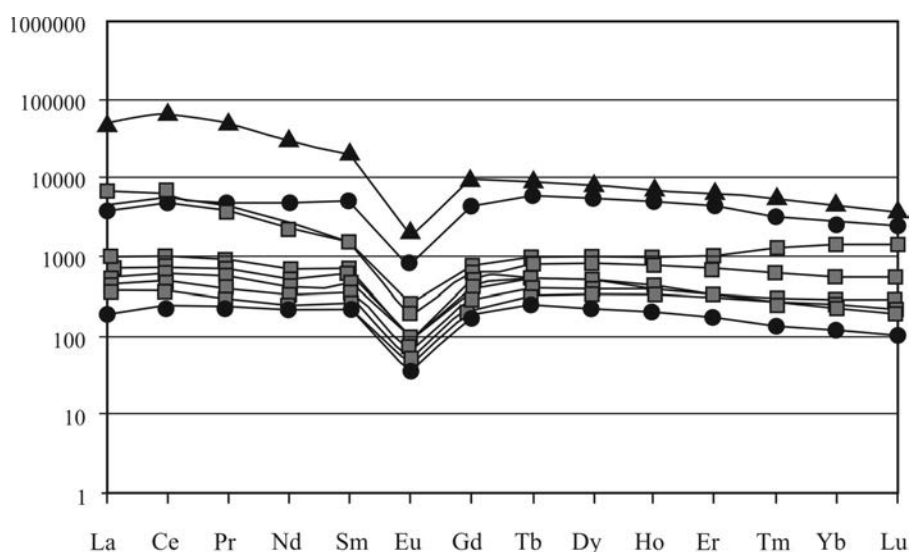


Рис. 5. Спектры REE редкометалльных гранитов

твержденного высокого содержания тяжелых редкоземельных элементов (HREE) показал широкий интервал их колебаний в Лэйк Зоне (*Lake Zone*) и экстремально высокий уровень в примерах из Р-Зоны (*R Zone*).

В 2006–2007 гг. компания *Wardrop Engineering* окончила ресурсный аудит для REE Лэйк Зоны и месторождений Северной Т Зоны (*North T Zone*) с обзором потенциальных схем разработки, экономической оценкой и программой бурения по Лэйк Зоне [16]. В обоих месторождениях относительно высока пропорция HREE, что служит ключом к их потенциальному экономическому развитию. В типичных месторождениях REE распространенность HREE обычно низкая (1–3 %), поэтому вышеназванные месторождения оказываются более ценными при растущем спросе на новые магнитные технологии.

Стрэндж Лэйк – месторождение Zr-HREE-Nb-Be-руд в Квебек Лабрадор (Канада) – имеет потенциальные большие запасы в субщелочном гранитном «кольце» диаметром около 6 км. Большая часть руды сконцентрирована в гадолините, бастнезите и кайнозите [12].

Полосчатые сиениты в *Кипава Лэйк*, Онтарио (*Kipawa Lake, Ontario*), охватывают зону обогащенных Y и Zr пород, содержащих эвдиалит, мозандрит и бритоцит, размером 1 300 × 100 м (Allan, J., 1993, личное сообщение по [12]).

Месторождение *Паджарито Маунтейн* (*Pajarito Mountain*) в Нью Мексико (Сев. Америка) находится в куполообразной сиенитовой интрузии площадью 10 км². Главная Zr-REE-фаза найдена в эвдиалите согласно [15].

Бокан Маунтейн (*Vokan Mountain*) Граниты и сиениты, ассоциирующие с HREE (содержание Y₂O₃ около 0,2 %), были выявлены в юго восточной части Аляски (Сев. Америка) [11].

Сопоставление с редкометалльно-редкоземельными месторождениями, характерные черты месторождений. Украинский щит, Приазовский мегаблок. Сравнение Азовского месторождения, на наш взгляд, следует провести по таким признакам как главные и второстепенные рудные минералы, акцессорные минералы, минералы околорудных метасоматических изменений, геохимические особенности.

Азовское месторождение [17]. Главными рудными минералами служат циркон, бритоцит, ортит (алланит), второстепенными – бастнезит, синхизит, паризит. Бастнезит здесь – главная вторичная фаза псевдоморфного бритолита. Паризит

образует субмикроскопические сростки с бритоцитом, синхизитом и рабдофанитом (CePO₄ × 2H₂O). Синхизит в ассоциации с бастнезитом образует включения в цирконе и флюорите.

Акцессорные минералы – магнетит, ильменит, гематит, ураноторит, бетафит, гетит, бадделит, пирит, пирротин, халькопирит, марказит, молибденит, сфалерит, флюорит.

Минералы метасоматитов – в результате автометасоматоза ортит-бритоцит-циркониевые руды были преобразованы в бастнезит-циркониевые. Главными кристаллическими продуктами являются бастнезит и монацит (возможно чералит).

Температура формирования – максимальные значения T_г первичных расплавных включений в цирконе – 1250–1160 °С. Температура минералообразующего флюида по температуре ликвации расплава, образованного при нагревании первичного включения в цирконе, составляет 1000–1030 °С. Достоверной температурой кристаллизации циркона Азовского месторождения принято значение, несколько превышающее 1000–1030 °С.

Геохимические особенности – неизменный бритоцит из Азовского месторождения содержит 2,5–11 % Y₂O₃, а в желтом бритоците-II и псевдоморфозах по нему содержание Y₂O₃ достигает 22,3 % [17]. По данным [17], среднее содержание TR₂O₃ по четырем технологическим пробам, характеризующим месторождение в целом, составляет 1,48 %, в том числе Y₂O₃ – 0,07 %. Среднее содержание ZrO₂ – 2,33 %. По данным [6], содержание в двух рудных пробах соответственно La – 1129 г/т, Ce – 2250 и 1130 г/т при Y – 623,7 и 625,0 г/т. Содержание Ba соответственно 52 и 28 г/т, при содержании Sr – 13,8 и 13,6 г/т, содержание Nb – 42 и 35 г/т.

Хондритнормированные спектры распределения REE, по данным [6], в таких спектрах из сиенитов и гранитов Азовского месторождения существует глубокий европиевый минимум (см. рис. 4).

Северо-Западный блок Украинского щита. Ястребецкое рудопроявление циркона. Главными рудными минералами являются циркон и его разновидности цитролит.

Акцессорные – апатит бритоцит, ортит, бастнезит, паризит и флюорит.

Геохимические особенности – минералы Ястребецкого и Азовского месторождений (бритоцит, ортит и бастнезит) как по валовому химическому составу, так и по спектрам содержания REE и Y, оказались идентичными или близкими.

Катугинское месторождение. Основные рудные минералы – пирохлор, циркон, REE-фториды и криолит. Второстепенные минералы – редкометалльные циркон и пирохлор.

Акцессорная минерализация – в биотитовых разностях пород встречены колумбит, колумбитизированный пирохлор, монацит, существенно иттриевый редкоземельный флюорит, малакон, и малаконизированный циркон, апатит, магнетит, ильменорутит, роуландит, а для обогащенных микроклином участков еще и фергусонит. Для амфиболовых разностей типичны пирохлор, циркон, флюоцерит, ильменит, криолит, гагаринит, более цериевый редкоземельный флюорит.

Температура гомогенизации расплавных включений, обнаруженных в цирконе, составляет 760–780 °С. При этом газовыделение из кварца происходит до $T = 600\text{--}650$ °С, а из циркона до $T = 700\text{--}850$ °С.

Геохимические особенности – типичные элементы – Ta, Nb, Zr, Hf, Zn, Y, TR, Th, V, Li, Be, Rb, Mo, Pb, Sn, а также F, концентрируются в основном в акцессорных и второстепенных минералах. На графике распределения редких элементов в щелочных гранитах катугинского комплекса наблюдаются хорошо выраженные отрицательные аномалии Ba, Sr, Eu и положительные аномалии Th, U, Nb, Ta, Zr и Hf. Для распределения REE в щелочных гранитах катугинского комплекса характерно умеренное обогащение легкими LREE ($[La/Yb]_n = 3,40\text{--}5,30$), иногда с положительной Ce-аномалией, пологий наклон графика распределения HREE ($[Gd/Yb]_n = 1,1\text{--}1,69$) и отрицательные Eu-аномалии ($Eu / Eu^* = 0,13\text{--}0,19$).

Редкометалльно-редкоземельные месторождения Канады и Северной Америки [12]. Месторождение Тор Лэйк (Канада). Главные и второстепенные рудные минералы – редкоземельные минералы месторождения Тор Лэйк, представлены алланитом, бастнезитом, фергусонитом, ксенотимом и в меньших количествах монацитом, паризитом и синхезитом.

Геохимические особенности – в обоих месторождениях Тор Лэйк относительно высока часть HREE. Отмечено промышленное содержание следующих оксидов элементов: TREO + Y_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , ZrO_2 , BeO, Ce_2O_3 , Y_2O_3 .

Месторождение Стрэндж Лэйк, Лабрадор. Главные и второстепенные рудные минералы – большая часть REE месторождения находятся в гадолините, бастнезите, и кайнозите.

Геохимические особенности – это Zr-HREE-Nb-Be месторождение. Щелочные комплексы в Шелюу Лэйк (*Shallow Lake*) и Летитиа Лэйк (*Letitia Lake*), расположены приблизительно в 250 км южнее от Стрэндж Лэйк, также включают породы с высоким содержанием иттрия.

Месторождение Кипава Лэйк, Онтарио (Канада). Главные и второстепенные рудные минералы – редкоземельные минералы представлены эвдиалитом, мозандритом и бритолитом.

Геохимические особенности – месторождение обогащено Y и Zr.

Месторождение Паджарито Маунтейн (Северная Америка). Главные и второстепенные рудные минералы – главная Zr-REE фаза найдена в эвдиалите. Геохимические особенности – это HREE-Zr месторождение с промышленным содержанием Y и Zr.

Итоги сопоставления Азовского редкоземельного месторождения с другими известными месторождениями. Украинский щит. Сопоставление с Ястребецким рудопроявлением циркона. Ястребецкий сиенитовый массив (и одноименное рудопроявление циркона) является почти полным аналогом Азовского. Однако на Ястребецком месторождении рудных концентраций REE и Y еще не обнаружено, а богатые циркониевые руды залегают на значительной глубине (550–1050 м).

Россия. Сопоставление с Катугинским месторождением. Сопоставление Азовского месторождения с Катугинским обнаруживает больше отличий, чем общих черт. Прежде всего, гранитоиды Катугинского месторождения это щелочные породы с коэффициентом апаитности от единицы и до 1,4. Рудные минералы Катугинского месторождения – это пирохлор, циркон, REE-фториды, в то время как на Азовском месторождении – бритолит, циркон ортит (алланит). Существенные различия есть и по второстепенным минералам. В рудах Азовского месторождения не встречены такие минералы, характерные для Катугинского месторождения как криолитколумбит, колумбитизированный пирохлор, монацит, существенно иттриевый редкоземельный флюорит, малакон, и малаконизированный циркон, роуландит, гагаринит, фергусонит, криолит, обогащенный свинцом пирохлор.

Эти месторождения отличаются и по температуре формирования – в Азовском температура расплавных включений из цирконов составляет 1250–1160 °С, а в Катугинском температура их гомогенизации – 760–780 °С.

Таблица 1. Промышленные запасы Азовского месторождения, по данным [1]

Категория запасов и ресурсов	Запасы руды, тыс. т	Средневзвешенное содержание полезных компонентов, %			Запасы полезных компонентов, тыс. т		
		REE	ZrO ₂	REE _{ус.}	REE, REE _{Ce} , REE _{EY}	ZrO ₂	REE _{ус.}
C ₁ + C ₂	30 400,1	1,19	1,81	1,77	361,8; 275,0; 86,8	550	537,8

Таблица 2. Перспективные запасы минерального сырья месторождения Лэйк Зона (Lake Zone), по [16]

Lake Zone: Inferred Mineral Resources Cutoff %	Запасы, т	TREO + Y ₂ O ₃ , %	Ta ₂ O ₅ , %	Nb ₂ O ₅ , %	ZrO ₂ , %
0,10 Y ₂ O ₃	14 005 000	1,23	0,025	0,33	1,73
0,05 Y ₂ O ₃	83 224 000	0,99	0,025	0,31	1,96
0,01 Y ₂ O ₃	375 410 000	0,41	0,014	0,22	1,19

Таблица 3. Номинальные запасы минерального сырья месторождения Нотс Т Зона (North T Zone), по [16]

North T Zone: Indicated Resources Subzone	Бортовое содержание, %	Тонны	TREO + Y ₂ O ₃ , %	BeO, %	Nb ₂ O ₅ , %
C, D, E	0,40 BeO	498 409	0,72	0,98	0,5
F	0,10 Ce ₂ O ₃	43 877	6,5	0,16	0,01
Y	0,04 Y ₂ O ₃	593 815	0,45	0,08	0,59
Total	нет данных	1 136 101	0,71	0,48	0,53

Общая черта для Азовского и Катугинского месторождений – наличие четкого европиевого минимума в спектрах REE, нормированных по хондриту.

Канада и Северная Америка. Азовское месторождение отличается от месторождения Тор Лэйк (Канада) прежде всего преобладанием LREE (лантаноидов до 81–92 %) над HREE – содержание Y от 3,7 до 8,5 %. Кроме того, список добываемых с промышленным содержанием оксидов элементов (TREO + Y₂O₃, Ta₂O₅, Nb₂O₅, ZrO₂, BeO, Ce₂O₃, Y₂O₃) существенно отличается от такового (REE Y-группы и Zr) Азовского месторождения.

Определенное подобие между ними существует в ассоциациях таких рудных минералов как алланит, бастнезит и паризит, но отличием месторождения Тор Лэйк от Азовского является присутствие в первом фергусонита и ксенотима.

Стрэндж Лэйк – месторождение Zr-HREE-Nb-Be. Общим между сравниваемыми месторождениями является промышленное содержание минерала циркона.

Месторождение Кипава Лэйк (Онтарио) обогащено, как и Азовское, Y и Zr, в нем также есть бритоцит, но оно отличается от Азовского присутствием эвдиалита и мозандрита.

Месторождение Паджарито Маунтейн – месторождение HREE-Zr. Его главное отличие от Азовского – то, что рудным минералом служит эвдиалит.

Выполненное сопоставление Азовского редкоземельного месторождения с подобными месторождениями мира свидетельствует о том, что оно относится к новому промышленному типу редкоземельных месторождений, связанных с субщелочными калиевыми гранитоидами.

Инвестиционная привлекательность Азовского месторождения.

Запасы Азовского редкоземельного месторождения показаны в табл. 1.

Промышленные запасы месторождений Северной Америки и Канады [16]:

1. Месторождение Паджарито Маунтейн (Pajarito Mountain) в Нью Мексико (Северная Америка) [12] содержит 2,4·10⁶ т руды (0,18 % Y₂O₃ и 1,2 % ZrO₂).

2. Месторождение Тор Лэйк (Thor Lake) включает в себя два месторождения:

а) месторождение Лэйк Зона (Lake Zone) [16] перспективные запасы минерального сырья (Inferred Mineral Resources) приведены в табл. 2;

б) месторождение Нотс Т Зона (North T Zone) [16] – номинальные запасы (Indicated Resources) приведены в табл. 3.

Из табл. 1–3 видно, что Азовское редкоземельное месторождение обладает преимуществом по сравниваемым показателям.

Предварительная геолого-экономическая оценка технико-экономических показателей промышленного освоения Азовского месторождения базовым и конкурентоспособным подземными

способами, ожидаемых при условии доведения полученного на данной стадии работ 90 % REE-концентрата до товарной продукции высшего порядка – оксидов REE с разделением на Y- и Ce-группу, однозначно показала его промышленное значение. В течение нескольких десятков лет разработка месторождения, в зависимости от способа

разработки и глубины технологического передела, может приносить ежегодную чистую прибыль в десятки, а за весь период разработки – в несколько сотен миллионов долларов. Промышленное освоение Азовского редкоземельного месторождения надолго избавит Украину от импорта редкоземельных концентратов из-за рубежа.

Литература

1. Шеремет Е.М., Мельников В.С., Стрекозов С.Н., Козар Н.А. и др. Азовское редкометальное месторождение Приазовского мегаблока Украинского щита (геология, минералогия, геохимия, генезис, проблемы эксплуатации). Донецк: Ноулидж, 2012. 374 с.
2. Быков Ю.В., Архангельская В.В. Катугинское редкометальное месторождение. Месторождения Забайкалья. Т. 1, кн. 2. Чита, М.: Геоинформмарк, 1995. С. 76–86.
3. Владыкин Н.В. Геохимия и генезис Катугинского редкометального массива щелочных гранитов. Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма. Школа «Щелочной магматизм Земли»: труды 31 Международной конференции, посвященной памяти академика Феликса Петровича Митрофанова, 7–8 октября 2014; [отв. ред. Л.Н. Когарко]. М.: ГЕОХИ РАН, 2014. 98 с.
4. Стрекозов С.Н., Васильченко В.В., Гурский Д.С. и др. Геологическое строение и характер оруденения Азовского месторождения. *Минер. ресурси України*. 1998. № 3. С. 6–9.
5. Гладкочуб Д.П. Источники, геодинамические обстановки и механизмы формирования уникальных комплексных редкометальных месторождений: на примере Катугинского месторождения, зона БАМ. Аннотация полученных результатов в 2015 году. Россия. 2014–2016. URL: grant.rscf.ru/prjcard_int?14-17-00325
6. Дубина А.В., Кривдик С.Г. Геохимия редкометальных сиенитов Украинского щита. *Минерал. журн.* 2013. **35**, № 3. С. 61–73.
7. Кривдик С.Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1990. 401 с.
8. Кривдик С.Г., Нечаев С.В., Оставненко А.І., Козак С.О. Акцесорний бритоїт з яструбецьких сієнітів (південно-західна частина Українського щита). *Доп. Академії наук УРСР. Серія Б*. 1982. № 12. С. 22–26.
9. Кривдик С.Г., Загнітко В.М., Стрекозов С.М. та ін. Рідкісно-металеві сієніти Українського щита: перспективи пошуків багатих руд цирконію та лантанодів. *Минерал. журн.* 2000. **22**, № 1. С. 62–72.
10. Ткачук В.И. О генезисе сиенитов Ястребецкого массива (Украинский щит). *Геол. журн.* 1987. **47**, № 2. С. 106–111.
11. Barker J.C., Mardock C.L. Lithophile metal, REE-Y-Nb deposits on Southern Prince of Wales Island, Alaska. *Process mineralogy VIII. Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, PA*. 1988. P. 139–158.
12. Castor S.B. Rare earth deposits of North America. *J. Mineral Resource*. 2008. **58**, № 4. P. 337–347.
13. Daniel J. Cordier, James B. Hedrick. Rare Earths. *U.S. Geological survey minerals yearbook. Minerals Yearbook*. Vol. I: Metals and Minerals. 2008. P. 60.1–60.15.
14. Glevassky E.B., Glevasska A.M. The Ukrainian Shield: Precambrian Regional Structure and Paleogeodynamics. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. 2002. **24**, № 4. P. 47–57.
15. Mariano A.N. Economic geology of rare earth elements. *Rev. Mineral.* 1989. **21**. P. 309–337.
16. Michael S. (Mickey) Fulp. Avalon Ventures Ltd. (AVL.T) evaluation. September 1, 2008. URL: http://www.goldgeologist.com/mercenary_musings/AVL.T%20evaluation%20080901.pdf
17. Melnikov V.S., Kulchitska A.A., Kryvdik S.G. et al. The Azov deposit – a new type of rare-metal objects of Ukraine. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. 2000. **22**, № 5/6. P. 39–49.

Reference

1. Sheremet, E.M., Melnikov, V.S., Strekozov, S.N., Kozar, N.A. et al. (2012). The Azov rare-earth deposit of the Azov sea region megablock of Ukrainian shield (geology, mineralogy, geochemistry, genesis, ores; integrated exploration criteria, problems of exploitation [Azovskoe redkometalnoe mestorozhdenie Priazovskogo megabloka Ukrainskogo shchita (geologiya, mineralogiya, geokhimiya, genezis. problemyi ekspluatatsii)]. Donetsk, Noulidzh. 374 p. [in Russian].
2. Byikov, Yu.V., Arhangel'skaia, V.V. (1995) Katuginskoe rare metal deposit. [Mestorozhdeniya Zabaykalya. Katuginskoe redkometalnoe mestorozhdenie]. **1**, kn. 2. Chita-Moscow, Geoinformmark. pp. 76-86 [in Russian].
3. Vladykin, N.V. (2014). Geochemistry and genesis of the Katuginski rare-metal massif of alkaline granites [Rudnyy potentsial shchelochnogo. kimberlitovogo i karbonatitovogo magmatizma. Shkola «Shchelochnoy magmatizm Zemli»: trudy 31 Mezhdunarodnoy konferentsii. posvyashchennoy pamyati akademika Feliksa Petrovicha Mitrofanova. Geokhimiya i genezis Katuginskogo redkometal'nogo massiva shchelochnykh granitov]. Moscow, GEOKhI RAN. 98 p. [in Russian].
4. Strekozov, S.N., Vasilchenko, V.V., Gurskiy, D.S. at al. (1998) Geological structure and character of mineralization of the Azov deposit [Geologicheskoe stroenie i harakter orudeneniya Azovskogo mestorozhdeniya]. *Miner. resursyi Ukrainyi*. № 3. pp. 6-9 [in Russian].
5. Gladkochub, D.P. (2014–2016) Sources, geodynamic conditions and mechanisms for the formation of unique complex rare-metal deposits: the example of the Katuginskoe field, the BAM zone [Istochniki, geodinamicheskie obstanovki i meh-anizmyi formirovaniya unikalnykh kompleksnykh redkometalnykh mestorozhdeniy: na primere Katuginskogo mestorozhdeniya, zona BAM]. URL: grant.rscf.ru/prjcard_int.14-17-00325.

6. Dubina, A.V., Kryvdik, S.G. (2013). Geochemistry of rare metal syenites of the Ukrainian shield [Geohimiya redkometalnih syenitov Ukrainського shchita]. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. **35**, No. 3. pp. 61-73 [in Russian].
7. Kryvdik, S.G., Tkachuk, V.I. (1990). Petrology of alkaline rocks of the Ukrainian shield [Petrologiya shchelochnyih porod Ukrainського shchita]. Kyiv, Naukova dumka. 401 p. [in Russian].
8. Kryvdik, S.G., Nechaiev, S.V., Ostavnenko, A.I., Kozak, S.O. (1982). Accesorian britolith from the Iastrubetsky syenites (southwestern part of the Ukrainian shield [Aktseorniy britolit z yastrubetskih sienitiv (pivdenno-zakhidna chastina Ukrainського shchita)]. *Dop. Akademii nauk URSR. Seriya B*. No. 12. pp. 22-26 [in Ukraine].
9. Kryvdik, S.G., Zagnitko, V.M., Strekozov, S.M. et al. (2000). Rare metal syenites of the Ukrainian shield: prospects for the search for rich zirconium ore and lanthanide ores [Ridkisko-metalevi syeniti Ukrainського shchita: perspektivi poshukiv bagatih rud tsirkoniyu ta lantanoidiv]. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. **22**, No. 1. pp. 62-72 [in Ukraine].
10. Tkachuk, V.I. (1987). On the Genesis of the syenites of the Yastrebitsky Massif (Ukrainian Shield) [O genezise syenitov Yastrebitskogo massiva (Ukrainskiy shchit)]. *Geol. Journ.* **47**, No. 2. pp. 106-111 [in Russian].
11. Barker J.C., Mardock C.L. (1988). Process mineralogy VIII. Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, PA. Lithophile metal, REE-Y-Nb deposits on Southern Prince of Wales Island, Alaska. pp. 139-158.
12. Castor, S.B. (2008). Rare earth deposits of North America. *J. Mineral Resoursh.* **58**, 4. pp. 337-347.
13. Daniel, J. Cordier, Hedrick, James B. (2008). *Geological survey minerals yearbook. Minerals Yearbook*. Vol. I: Metals and Minerals. Rare Earths U.S. pp. 60.1-60.15.
14. Glevassky, E.B., Glevasska, A.M. (2002). The Ukrainian Shield: Precambrian Regional Structure and Paleogeodynamics. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. **24**, No. 4. pp. 47-57.
15. Mariano, A.N. (1989) Economic geology of rare earth elements. *Rev. Mineral.* **21**. pp. 309-337.
16. Michael, S. (2008) Fulp. Avalon Ventures Ltd. (AVL.T) evaluation. URL: http://www.goldgeologist.com/mercenary_musings/AVL.T%20evaluation%20080901.pdf
17. Melnikov, V.S., Kulchitska, A.A., Kryvdik, S.G. et al. (2000). The Azov deposit - a new type of rare-metal objects of Ukraine. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. **22**, No. 5/6. pp. 39-49.

Шеремет Е.М.¹, Стрекозов С.М.², Сетая Л.Д.¹, Азаркова Н.Г.¹

1 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

2 – Приазовська КГРЕ КП «Південукргеологія»

Азовське рідкісноземельне родовище Українського щита як новий інвестиційно-привабливий тип промислових родовищ

Азовське рідкісноземельне родовище Українського щита на основі ряду характеристичних ознак (головні і другорядні рудні мінерали, акцесорні мінерали, мінерали навколорудних метасоматичних змін, геохімічні особливості) було порівняно з подібними рідкіснометалево-рідкісноземельними родовищами світу, збагаченими ітрієвими REE, HREE і цирконієм, пов'язаними з сублужними гранітоїдами. Результати співставлення показали, що Азовське родовище не має прямих аналогів подібного типу (за винятком Ястребецького рудопрояву УЩ) серед рідкісноземельних родовищ світу. Разом з тим, Азовське рідкісноземельне родовище є великим родовищем, де запаси корисних компонентів перевищують запаси рідкісноземельних руд відомих промислових родовищ Канади і Північної Америки. Попередня геолого-економічна оцінка Азовського родовища однозначно показала його промислове значення. Протягом декількох десятків років розробка родовища залежно від способу розробки і глибини технологічної переробки може приносити щорічний чистий прибуток у десятки мільйонів, а за весь період розробки – у кілька сотень мільйонів доларів.

Ключові слова: Азовське рідкісноземельне родовище, Український щит, геохімія, геолого-економічна оцінка.

Sheremet Ye.M.¹, Strekozov S.N.², Setaia L.D.¹, Aharkova N.G.¹

1. M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Science of Ukraine

2. CGE Azov CP «Pivdenukrheologia»

Azov Rare-Earth Deposit of Ukrainian Shield as a New Investment-Attractive Type of Industrial Deposits

The Azov rare-earth deposit of the Ukrainian Shield, based on the characteristic features (major and minor ore minerals, accessory minerals, minerals of ore-bearing metasomatic changes, geochemical features), has been compared with similar rare earth rare-earth deposits enriched with yttrium REE, HREE and zirconium associated with subalkaline granitoids. The results of the comparison showed, that the Azov deposit does not have direct analogs of this type (with the exception of the Yastrebitskoe ore occurrence of USH) among the rare-earth deposits of the world. At the same time, the Azov rare-earth deposit is a large deposit where the reserves of useful components exceed the reserves of rare-earth ores of known industrial deposits in Canada and North America. Preliminary geological and economic assessment of the Azov deposit unambiguously showed its industrial significance. For several decades the development of the deposit, depending on the method of development and the depth of the technological redistribution, can bring an annual net profit of tens of millions, and for the entire development period of several hundred million dollars.

Keywords: Azov rare-earth deposit, Ukrainian Shield, geochemistry, geological and economic assessment.

Поступила 11.01.2017