

В. В. Щитцов, Л. С. Скамницкая, Т. П. Бубнова

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ЕЛЕТЬОЗЕРСКОГО МАССИВА И ИХ АНАЛОГИ НА ФЕННОСКАНДИНАВСКОМ ШЦИТЕ

Обзор геологических исследований

Елетьозерский массив был обнаружен Ю. С. Неуструевым в 1936 г. В то время Ю. С. Неуструев сделал предположение, что этот массив представляет собой палеозойскую дифференцированную интрузию трещинного типа в древнем архейском фундаменте (Неуструев, 1937).

И. С. Ожинский выделяет в истории формирования четыре фазы: три первые представлены габбро, перидотитами, анортозитами, сидеронитовыми пироксенитами, четвертая – щелочные и нефелиновые сиениты и их пегматиты. В 1951 г. В. Е. Романов, картируя площадь в масштабе 1 : 50 000, приходит к выводу, что массив надо относить к концентрически зональной интрузии центрального типа. С его именем связано и открытие основных проявлений титановых руд в этом массиве, что было положено в основу съемочных и поисково-оценочных работ СЗТГУ (Зак, Киселев, 1957) в 1954–1956 гг. Основным результатом стал подсчет запасов титановых руд по категориям С₁ и С₂ на участке Суриваара.

К следующим важным этапам изучения геологии, петрографии и рудоносности массива относятся работы сотрудников Геологического отдела Карельского филиала АН СССР (период 1954–1959 гг.), итоговым материалом которых стал выпуск монографии «Геология и петрология Елетьозерского массива габброидных пород Карелии» (Богачев и др., 1963). В последующие годы группа сотрудников ЛГУ (1959–1961 гг. и 1963–1965 гг.) продолжила исследование с акцентом на петрогенезис массива, что тоже нашло отражение в коллективной монографии «Щелочные габброиды Карелии. Елетьозерский массив – петрология, минералогия, геохимия» (Кухаренко и др., 1969). Данные фундаментальные работы определили основное состояние изученности массива. За последние десятилетия массив становился объектом для минералогических исследований, которые осуществлялись в первую очередь сотрудниками Института геологии КарНЦ РАН (Пекки, Разоренова, 1977; Пекки, Скамницкая, 1977; Кулмала и др., 1991) и другими геологическими организациями (Кириллов, 1981; Минерально-сырьевая база..., 2005).

В плане массив, вытянутый в субмеридиональном направлении, представляет собой эллипсообразное концентрически-зональное тело, осевая линия которого имеет флексуриобразную форму. Площадь составляет около 100 км² с размерами по длинной оси 18–20 км и короткой – 6–8 км. В процессе картирования А. И. Богачевым с сотрудниками (1963) было выявлено, что большая периферическая часть массива сложена габброидами, центральная часть – щелочными и нефелиновыми сиенитами (рис. 1). Интересные результаты зафиксированы в свое время по керну скважин 49, 50, 51, связанные с фиксацией брекчий взрыва с карбонатным цементом. Например, по скважине 49 А. В. Григорьевым (Григорьев и др., 1982) описана жила эгирин-амфиболовых карбонатитов. По условиям формирования весь массив является сложным многофазным плутоном длительного развития в геологическом понимании. По петрографическому составу и последовательности формирования выделяются следующие классы и группы пород: сидеронитовые клинопироксениты, габброиды (серия мелкозернистого краевого габбро с переходной подсерией переслаивания мелкозернистого и крупнозернистого габбро и собственно габброидная серия – это крупнозернистое габбро, среднезернистое полосчатое габбро, плагиоклазит-рудный перидотит, лейкократовое ортоклазовое габбро, слюдяное габбро и слюдястый перидотит), дайки спессартитов, щелочные и нефелиновые сиениты миаскитового типа с их жильными и дайковыми производными, а также породы, связанные с карбонатитовой стадией формирования комплекса (Богачев и др., 1988). Нами при полевых исследованиях в раме массива к северу от г. Кукивара в сланцевой толще, представленной биотит-амфиболовыми и амфиболовыми сланцами, обнаружены секущие тела крупнозернистых карбонатитов мощностью до 1 м.

По данным В. В. Шаркова (2006), вещественным и возрастным аналогом Елетьозерского интрузива является массив Гремяха-Вырмес. В. В. Шарков также отмечает, что ритмичная расслоенность Елетьозерского массива характеризуется «гравитационно-перевернутым» ритмом, а «полосчатая зона» боковой краевой группы Скергаард, по его мнению, может быть сопоставлена с фрагментарной краевой группой

в Ельтозерском интрузиве. Как известно, в восточной части интрузива на участке Суриваара отчетливо присутствует полоса кулисообразно расположенных крутопадающих тел с расслоенными текстурами, залегающими между вышеуказанными сериями мелко-

зернистого краевого габбро и крупнозернистого габбро. Аналогичная полоса широко известного Скергаардского интрузива (Восточная Гренландия), названная «Сэндвичевым горизонтом», имеет мощность около 200 м (Уйджер, Браун, 1970).

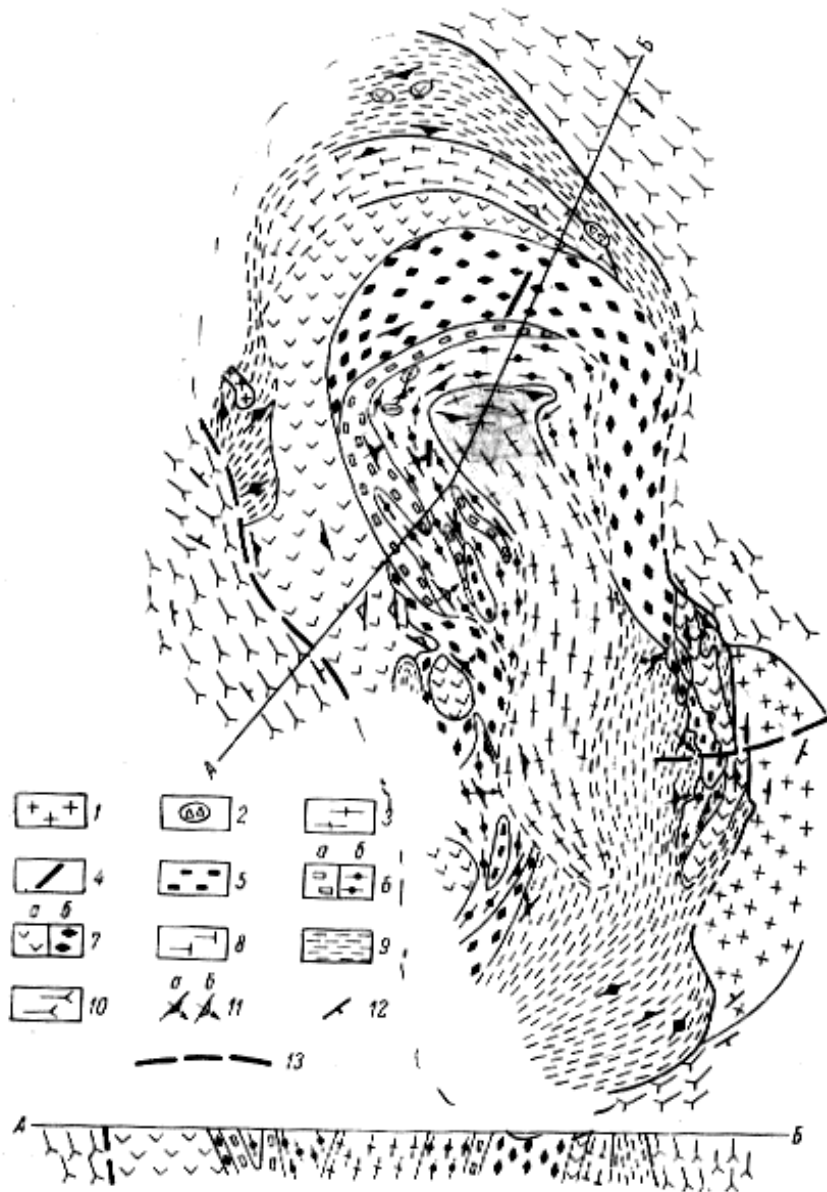


Рис. 1. Схема геологического строения Ельтозерского массива (составители – А. И. Богачев, С. И. Зак; Богачев и др., 1963):

1 – плагиомиоклиновые и микроклиновые граниты; III фаза массива: 2 – брекчия взрыва; 3 – щелочные и нефелиновые сиениты; II фаза массива: 4 – дайки порфиритов, диабазов и спессартитов; I фаза массива: 5 – комплекс слюдяного перидотита – слюдяного ортоклазового габбро; 6 – комплекс плагиоклазита-перидотита (а – плагиоклазит; лейкократовое габбро, б – полосчатое оливниновое габбро, меланократовое оливниновое габбро, перидотит); 7 – комплекс крупнозернистого габбро – среднезернистого полосчатого габбро (а – крупнозернистое габбро, битовнититы, б – среднезернистое полосчатое габбро); 8 – комплекс сидеритовых пироксенитов; 9 – комплекс мелкозернистого и среднезернистого габбро; 10 – плагио- и плагиомиоклиновые гнейсо-граниты; 11 – полосчатость и линейность (а – с углами падения более 45°, б – менее 45°); 12 – гнейсовидность и сланцеватость; 13 – зоны тектонических нарушений

Щелочные и нефелиновые сиениты миаскитового типа распространены в центральной части Ельтозерского массива, где они слагают тело площадью около 10 км².

В минерогеническом отношении внимание привлекают участки с промышленными минералами, которые выделены в составе сформированного массива – это ильменитовые и титаномagnetитовые проявления, а также щелочные и нефелиновые сиениты, источники полевого шпата. В этой статье приведены материалы по их оценке как потенциальных месторождений промышленных минералов многоцелевого использования.

Краткий обзор промышленных объектов ильменитовых руд и нефелиновых сиенитов Фенноскандинавского щита

Ильменитовые руды. Норвегия

Ильменит относится к одному из распространенных промышленных минералов группы титана и типичному промышленному минералу, образующему месторождения на Фенноскандинавском щите. По добыче титановой руды Норвегия стоит на одном из первых мест в мире. Компания Titania A/S, входящая в корпорацию Kronos Inc, производит титановый

концентрат, разрабатывая открытым способом месторождение Теллес, которое приурочено к крупным дайкам норитов в анортозитах провинции Рогаланд в самой южной части Норвегии (рис. 2).



Рис. 2. Ильменитовый карьер месторождения Теллес

Длина линзообразного рудного тела 2,3 км с содержанием TiO_2 18%, магнетита 2%, содержание сульфидов 0,25%. Общие запасы перед разработкой составляли более 300 млн т.

Схема обогащения достаточно сложная и для получения качественного ильменита включает комбинацию различных методов: магнитную сепарацию, гравитацию, несколько циклов флотации и выщелачивание (рис. 3).

В выпускаемом ильменитовом концентрате содержится 44,5% TiO_2 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав (валовой) ильменитового концентрата, полученного на месторождении Теллес

TiO_2	44–45%
SiO_2	2–3,5%
FeO	34,5 – 35,5%
Fe_2O_3	12–13%
CaO	0,25–0,35%
MnO	0,29–0,32%
V_2O_5	0,15–0,2%
MgO	3,5– 5,1%
P_2O_5	<0,003
Cr_2O_3	<0,08
S сульфидная	<0,25 %
C	<0,05 %
Ni	<200 ppm
Cu	<15 ppm
Co	<200 ppm
Zn	<200 ppm
Hg	<0,01 ppm
Cd	<0,1 ppm
Pb	<5ppm
U	<1 ppm
Th	<2 ppm

Получаемый концентрат используется в нескольких направлениях:

- как сырьевой материал для производства титанового двуоксидного пигмента по технологии сульфатного процесса используется – 20%;

- для получения титанового шлака в пигментную промышленность – 25%;

- продается другим производителям пигмента в Европе – 55%.

Помимо ильменита, продается побочный магнетитовый продукт производства для европейской угольной промышленности и сульфидные концентраты – для извлечения из них никеля и меди. В последнее время, в связи с переходом в пигментном производстве на хлоридный процесс, возникают экологические проблемы, что создает определенные трудности для развития ильменитового производства в Норвегии.

В Норвегии имеется целый ряд небольших месторождений, которые представляют экономический интерес в перспективе. Потенциал целой провинции анортозитов Рогаланд (Ducheshe, 1999) считается значительным. Наиболее важное месторождение рутила связано с большими содержаниями рутила в эклогитах, залегающих в различных частях Западной Норвегии (Korneliussen, Foslie, 1985; Korneliussen, 1995). Эти месторождения присутствуют в обогащенных титаном габброидах докембрия, которые трансформировались в эклогиты при метаморфизме высоких давлений каледонского периода развития с переходом ильменита в рутил. Таких месторождений с относительно невысокими содержаниями рутила (2–6%) известно очень много. Наиболее известное месторождение – это месторождение Енгебэфельлет на северном берегу Фэрдфьорд в Согн ог Фьордане.

Ильменитовые руды. Финляндия

Габбро Койвусаареннева представляет собой небольшую слоистую мафическую интрузию, внедрившуюся в кору тоналитового состава в центрально-западной части Финляндии около 1881 млн лет. Интрузия состоит из трех различных зон – нижней, средней и верхней. Перечисленные зоны содержат соответственно ильменитомagnetит, ильменит и апатит. Зоны, вероятно, возникли в результате последовательной пульсации титаносодержащей толеитовой магмы.

Нижняя зона габбро Койвусаареннева содержит мелкие слои вкрапленной ильменитомagnetитовой руды. Представляется, что она возникла в относительно закрытой системе частичной кристаллизации в условиях относительно высокой кислородной фугации. Средняя зона содержит объемистые минерализованные слои концентрированного (9–24% двуокиси титана) и вкрапленного (4–10% двуокиси титана) ильменита, магнетита и ильменитомagnetита при среднем соотношении ильменита и магнетита 4 : 1. В различных типах руд ильменит и магнетит можно извлекать мокрым магнитным способом, за исключением частично эродированных зон у поверхности.

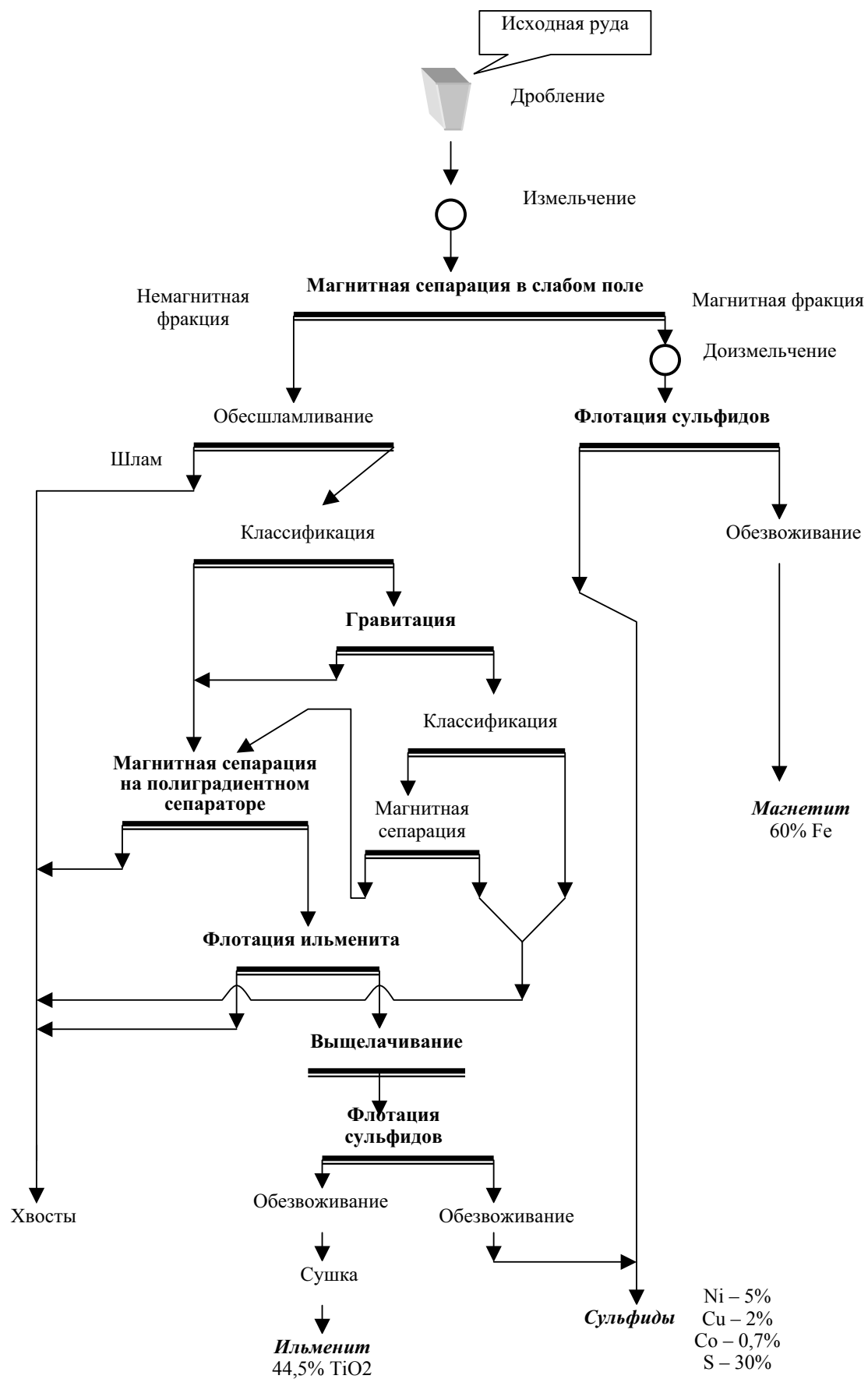


Рис. 3. Технологическая схема получения ильменита в Норвегии

В средней зоне имела место открытая кристаллизация. Капельки расплава с большим содержанием титана или взвешенные окислы удалялись из насыщенной титаном магмы. Магма, лишенная титана, изливалась из слабо кристаллизованной интрузии и замещалась новой магмой, насыщенной титаном (Kärkkäinen, 1997; Kärkkäinen, Appelqvist, 1999).

Результаты исследований Геологической Службы Финляндии показывают, что участок Кялвия (Койву-саареннева) и другие участки свекофеннского домена имеют хороший потенциал высокого качества ильменитовых руд (Chernet, Kärkkäinen, 1995).

Ильменитовые руды. Кольский полуостров

Рудоносный комплекс-плутон Гремяха-Вырмес занимает по площади около 50 км² и относится к магматическим проявлениям габбро-щелочной формации (Зак, Юдин, 1971). По комплексу полезных ископаемых руды подразделены на четыре типа: ильменит-титаномагнетитовые, титаномагнетит-ильменитовые, апатит-титаномагнетит-ильменитовые, апатит-ильменитовые (Осокин, 1987). Перспективы на ильменит связаны в первую очередь с перидотитами и габброидами массива. Рекомендуются два участка. Первый участок, названный «Карьер № 1», представлен рудами со средним содержанием в них 8% ильменита, 8% титаномагнетита и 7% апатита. Выход ильменитового концентрата составляет 5–9% при содержании в нем 45,0–46,5%

TiO₂. Важно дополнить, что из этих разновидностей извлекается также другой полезный компонент – это апатит. Извлечение апатита – 74–81% при содержании P₂O₅ 38–39%. Средние содержания TiO₂ 6,0%, P₂O₅ 3,01% и Fe 17,8%. На месторождении проводится детальная разведка, что является хорошим предвестником создания в Мурманской области титановой промышленности в недалеком будущем.

Кроме ильменита, к другим источникам двуокиси титана вправе относить месторождения Африканда и Вуориярви, которые характеризуются перовскит-титано-магнетитовыми рудами, образованными в щелочно-ультраосновных массивах каледонского периода (Каледонский комплекс., 1965). В рудах месторождения Африканда средние содержания TiO₂ 12,0% и Fe 14,2%, в рудах месторождения Вуориярви – TiO₂ 8,7% и Fe 18,1%.

Нефелиновые сиениты. Норвегия

Нефелиновые сиениты залегают в центре Сейланд щелочной магматической серии каледонской провинции. Серия состоит из габброидных плутонов, щелочных интрузий, ультрамафических комплексов, щелочных пород, карбонатитов и роев мафических даек. Формирование нефелиновых сиенитов связывается с сильной фенитизацией, вызванной магматизмом карбонатитового типа в районе Лиллебакт, где расположено крупнейшее месторождение мира – Стьерноя (рис. 4).



Рис. 4. Месторождение и фабрика Стьерноя

В пространстве линза нефелиновых сиенитов имеет длину 1700 м с максимальной мощностью 300 м, глубина примерно 500 м. Запасы составляют около 300 млн т. Нефелиновый сиенит состоит из пертитового калиевого полевого шпата с небольшим количеством пластинчатого альбита – 56%, не-

фелина – 34%. Последний явно наложенный, часто образует жилки. Главные компоненты нефелинового сиенита – полевой шпат и нефелин – находятся в пропорции 2 : 1. К другим второстепенным минералам относятся кальцит, клинопироксен, роговая обманка, биотит, сфен и магнетит.

Т а б л и ц а 2

Химический состав разновидностей готовой продукции из нефелиновых сиенитов, получаемой North Cape Nefelin A/S, %

Оксиды	Направления использования		
	стекло	керамика	амбер
SiO ₂	57	57	56,5
Al ₂ O ₃	23,8	23,8	22,5
Fe ₂ O ₃	0,1	0,12	0,4
TiO ₂	0,1	–	–
CaO	1,3	1,1	2,5
Na ₂ O	7,9	7,8	7,5
K ₂ O	9,0	9,1	8,2
BaO	0,3	0,3	–
SrO	0,3	0,3	–
P ₂ O ₅	0,1	–	–
F	<40 ppm	<40 ppm	<40 ppm
Cl (раств. в воде)	<0,15 ppm	<18 ppm	–
Cl (общий)	<100 ppm	<75 ppm	<100ppm
ппп	1,2	–	–

Нефелиновый сиенит имеет плотность 2,61 г/см³ и твердость по шкале Мооса 5–6.

Руда взрывается в подземной выработке, и порода извлекается крупными блоками (кусками). Для бурения, взрывных работ, погрузки и транспортировки используется современное оборудование. Подготовка исходной руды к обогащению включает операции по дроблению, измельчению, сушке, классификации до максимального размера зерен 0,5 мм. Затем последовательно подвергается обогащению (рис. 5).

Первая стадия проходит в сепараторах низкой магнитной интенсивности для отделения высокомагнитных минералов. В последующие стадии постепенное увеличение напряженности электромагнитного поля способствует удалению слабомагнитных минералов. Конечный товарный концентрат содержит 0,1% Fe₂O₃. Преимущество перед пегматитовым полевым шпатом состоит в быстрой реакции с кремнием, которая происходит при более низких температурах плавления, обеспечивается лучшее качество, однородность состава и устойчивость условий технологических процессов. Компания North Cape Minerals производит 300 тыс. т нефелин-полевошпатового концентрата, используемого в производстве стекла и керамики, что представляет собой примерно 10% мирового производства (Corneliusen et al., 2006).

Ильменитовые и титаномагнетитовые руды участка Суриваара (Ельтьозерский массив)

В составе Ельтьозерского пироксенит-габбро-щелочного магматического комплекса выявлены ильменитовые и титаномагнетитовые проявления. А. И. Богачев и другие исследователи (Богачев и др., 1963) пришли к выводу, что для габброидов Ельтьозерского массива образование ильменитовой и титаномагнетитовой минерализации в локальных случаях оруденения объясняется исходя из представления о выделении рудных минералов из магматических расплавов в виде твердой фазы при процессах кинетического и гравитационно-кинетического фракционирования при сопряженной эволюции

составов рудных и силикатных минералов с образованием остаточных рудных магм. Подчеркивалось, что существование рудных остаточных магм подтверждается наличием повернутых ксенолитов плагиоклазита в рудном габбро. В зависимости от типа фракционирования остаточная рудоносная магма отжимается к висячему или лежащему боку. Отмечалось, что в случае пологого залегания сингенетических рудных полосчатых ассоциаций концентрация рудных минералов происходила в нижней части подкамер, а в случае крутого залегания – в верхней части. Соотношение ильменит – титаномагнетит имеет определенные особенности и меняется в зависимости от различных обстановок кристаллизации. Например, в ранних мелкозернистых габброидах титаномагнетит преобладает над ильменитом, как и в более поздних петрографических сериях периода кристаллизации (крупнозернистое полосчатое габбро, среднезернистое габбро). В серии же плагиоклазита – рудного перидотита титаномагнетит преобладает в плагиоклазитах, ильменит – в рудном оливинитовом габбро, перидотитах и амфиболитизированных габбро. В целом же большее значение имеет температура кристаллизации, содержание и состав летучих компонентов.

Титаномагнетиты и ильмениты образуют титаномагнетитовую (FeFe₂O₄ – FeTiO₄) и ильменитовую (FeTiO₃ – Fe₂O₃) серии (Вахрушев, 1988). Крайними членами титаномагнетитовой серии являются магнетит (FeFe₂O₄) и ульвошпинель (FeTiO₄). Титаномагнетиты относятся к промежуточным членам серии. Они представляют собой твердые растворы, содержащие продукты их распада (ульвошпинель) или окисления и распада (ильменит).

Титановые руды на Ельтьозерском массиве отмечены на нескольких участках (рис. 6).

Одним из таких участков является Кукаваара в северной оконечности массива. Титаномагнетитовый минеральный тип руд связывается с сидеронитовыми клинопироксенитами. Здесь по данным ранних работ (Зак, Киселев, 1957) определены содержания TiO₂ в клинопироксенитах от 3 до 8%.

В габброидах массива выделены два рудных поля – Западное и Восточное (Богачев и др., 1963).

В рудном поле «Западное» выявлены существенно титаномагнетитовые в мелкозернистом и крупнозернистом габбро, ильменит-титаномагнетитовые в среднезернистом габбро (нерасчлененном), апатит-титаномагнетит-ильменитовые в серии ортоклазового слюдистого габбро и слюдистого габбро-перидотита. Один из участков – это Нятоваара. Другой участок наименован как Межозерный. Здесь устанавливается в центральных частях рудных тел содержание P₂O₅ до 6%. Этот минеральный тип, представленный переходной зоной мелкозернистого и крупнозернистого габбро, стал определенной причиной для того, чтобы относить Ельтьозерский массив к фосфор-железо-титановой специализации в щелочной габброидной и пироксенитовой формации (Минерально-сырьевая база..., 2005). В экономическом отношении на данном уровне исследований этот участок относится к абсолютно бесперспективным на апатит.

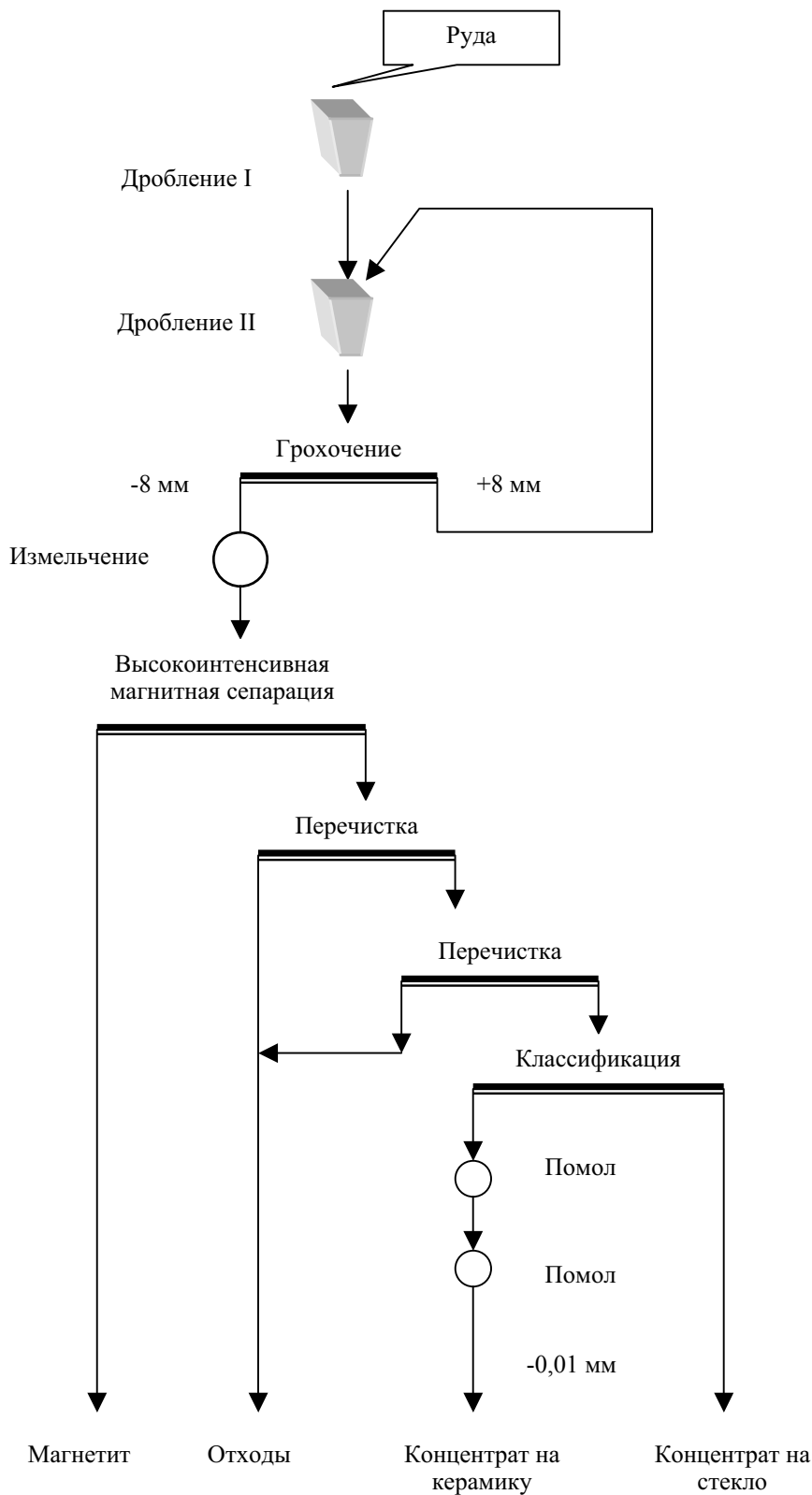


Рис. 5. Схема обогащения нефелиновых сиенитов месторождения Стъерноя

Рудный участок Суриваара Елетьозерского массива (Восточное рудное тело) является наиболее перспективным. В 1950-е гг. здесь были обнаружены и опробованы несколько залежей с различной минерализацией, представленной титансодержащим магнетитом и ильменитом. Выделены пять залежей – «Се-

верная», «Западная», «Центральная», «Параллельная» и «Главная».

Субмеридиональная залежь «Северная» представлена меланократовым оливинным габбро, перидотитами и пироксенитами с крутым падением на запад. Мощность около 100 м. Устанавливаются висячем

боку залежи ильменит-титаномагнетитовые руды, в лежачем – титаномагнетит-ильменитовые. Основная часть разведанных запасов сосредоточена в залежи «Главная». Она сложена рудными оливиновыми крупнозернистыми и мелкозернистыми габбро, перидотитами и пироксенитами. Рудная залежь имеет падение на северо-запад под углами 40–75°. Максимальная рудоносность приурочена к лежачему боку и представлена титаномагнетит-ильменитовым типом. Залежь находится в самой отдаленной точке от дорог.

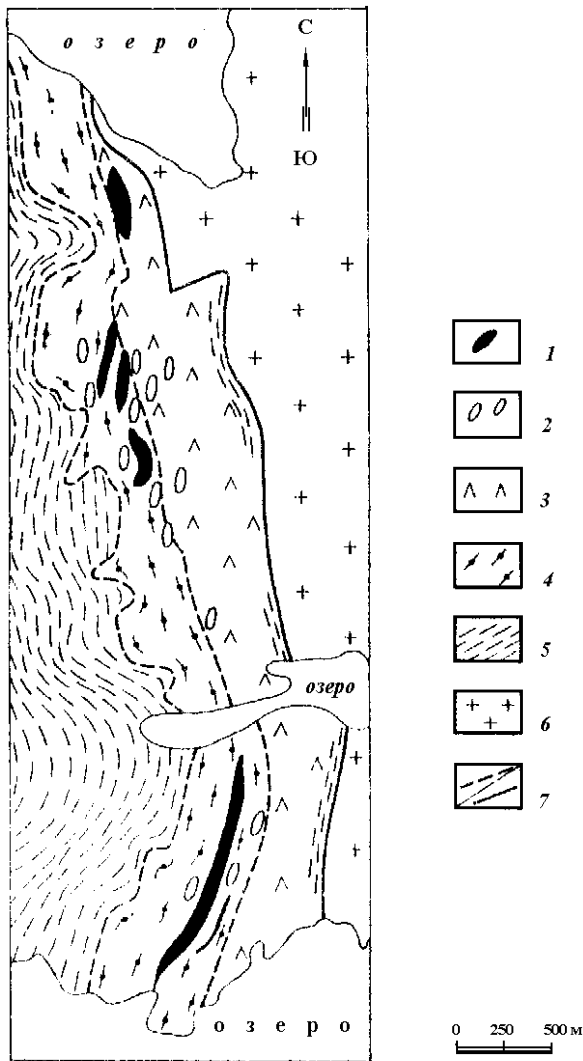


Рис. 6. Геологическая карта участка Суриваара (с использованием материалов: Богачев и др., 1963):

1 – титано-магнетитовые и ильменитовые руды (рудные оливиновые габбро, перидотиты, слюдистые перидотиты, амфиболиты); 2 – щелочные и нефелиновые сиенит-пегматиты; 3 – крупнозернистые габбро; 4 – лейкократовое ортоклазовое габбро, слюдистое габбро, слюдистые перидотиты; 5 – мелко- и среднезернистое габбро; 6 – пегматиты; 7 – а – контакты предполагаемые, б – границы массива

По содержанию диоксида титана руды подразделяются на три сорта:

- 1 сорт – выше 12% TiO_2 ;
- 2 сорт – 8–12% TiO_2 ;

3 сорт – 5–8% TiO_2 .

Прогнозные ресурсы участка Суриваара составляют 182,5 млн т руды до глубины 200 м, в том числе TiO_2 около 3,5 млн т.

Исследования по обогащению руд месторождения Суриваара проводились в институте «Механобр» (Зак, Киселев, 1957) на стадии поисково-оценочных и разведочных работ на рудах 1 и 2 сортов. Руды третьего сорта, содержащие менее 8% TiO_2 , отнесены к забалансовым и технологически практически не изучались. Они оценены по 1 пробе – № 09. Минеральный состав 10 изученных проб приведен в табл. 3.

Технологически изучению подверглись, в основном, руды 1 сорта, обогащение проводилось по схеме (рис. 7), включающей дробление, измельчение, магнитную сепарацию в слабом поле для выделения магнетита с последующей концентрацией на столе для выделения ильменита. При доводке промежуточного продукта применялась сепарация в сильном поле и флотация ильменита.

Качественный состав ильменитовых концентратов, полученных из разных сортов, несколько различается по содержанию TiO_2 , Al_2O_3 и серы, что в значительной степени связано с изменением состава и структуры пород (табл. 4).

Средний коэффициент извлечения TiO_2 в ильменитовый концентрат составил 48,2%, при минимальном 35,4% и максимальном 66,9%. Среднее содержание TiO_2 в концентрате – 41,58%.

Новый геолого-технологический этап изучения руд участка Суриваара проводился в 1993 г. (Кулмала и др., 1994). Для этих целей был выбран домен с наиболее обнаженной естественной поверхностью (залежи «Западная», «Центральная», «Параллельная»), что позволило провести опробование в необходимых интервалах для определения устойчивости или изменчивости тех или иных минералогических и технологических параметров (рис. 8).

Нами было установлено, что рудная минерализация приурочена к трем типам горных пород:

- 1) амфиболитизированные пироксениты;
- 2) оливиновые габбро;
- 3) крупнозернистые габбро.

Наиболее высокие значения TiO_2 соответствуют двум первым типам (до 12%). Химические составы пород по данным опробования приведены в табл. 5, 6.

По минеральному составу рудные минералы представлены магнетитом, титаномагнетитом и ильменитом. Из других минералов главными являются полевой шпат, оливин, амфибол.

Ильменит представлен тремя генерациями: таблитчатыми зернами неправильной формы, тонкими пластинами, эмульсионной вкрапленностью в зернах магнетита. Наиболее часты срастания таблитчатых зерен ильменита с титаномагнетитом размером 0,45×0,6 мм, 0,7×0,35 мм, редко 4,0–1,3 мм. Более мелкие кристаллы ильменита размером 0,045×0,03 мм, 0,001×0,002 мм развиты вдоль контуров гнезд

титаномагнетита и по трещинам в титаномагнетите, а также скоплений вдоль поздних трещин (тип мозаичного кварца) размером 0,07×0,7 мм, 0,027×0,027 мм и т. д. (рис. 9).

Титаномагнетит образует изометричные выделения, представленные тонкорешетчатой структурой распада, в которых присутствуют единичные пластинки ильменита толщиной 10–20 мкм (рис. 9).

Таблица 3

Минеральный состав технологических проб (содержание, вес. %)

Минералы	Номер пробы									
	05	06	07	08	09	012	013	014	015	016
Ильменит	18	24	13,5	12	4	12–14	18–20	8–10	16–17	17–18
Титаномагнетит	11	6,5	31	36	6	5–7	12–14	12–14	8–9	10–12
Магнетит						2–3	3–4	2–5	3–5	2–3,5
Сульфиды	1	1	1,5	1,5	1	0,5	2,5	3	1	1–2
Пироксен	27	16,5	22	17	20	15	13	9	24	21
Плагиоклаз	16	12	10	16,5	39	18	10	14	7	13
Роговая обманка	16	34	11	6	–	16	11	10	17	11
Апатит	7	3	–	1	–	1	0,5	1	0,5	2
Оливин	2	–	2	4,5	–	10	4	–	9	6
Биотит	1	–	1	–	2	2	7	4	2	3
Шпинель	Ед.	Ед.	Ед.	Ед.	Ед.	Ед.	Ед.	Ед.	Ед.	10
Кальцит							1–2	3	Ед.	Ед.
Хромит					18	10	7	8	4	8
Гранат				0,5				1–2		
Серпентин							1–2	1		Ед.

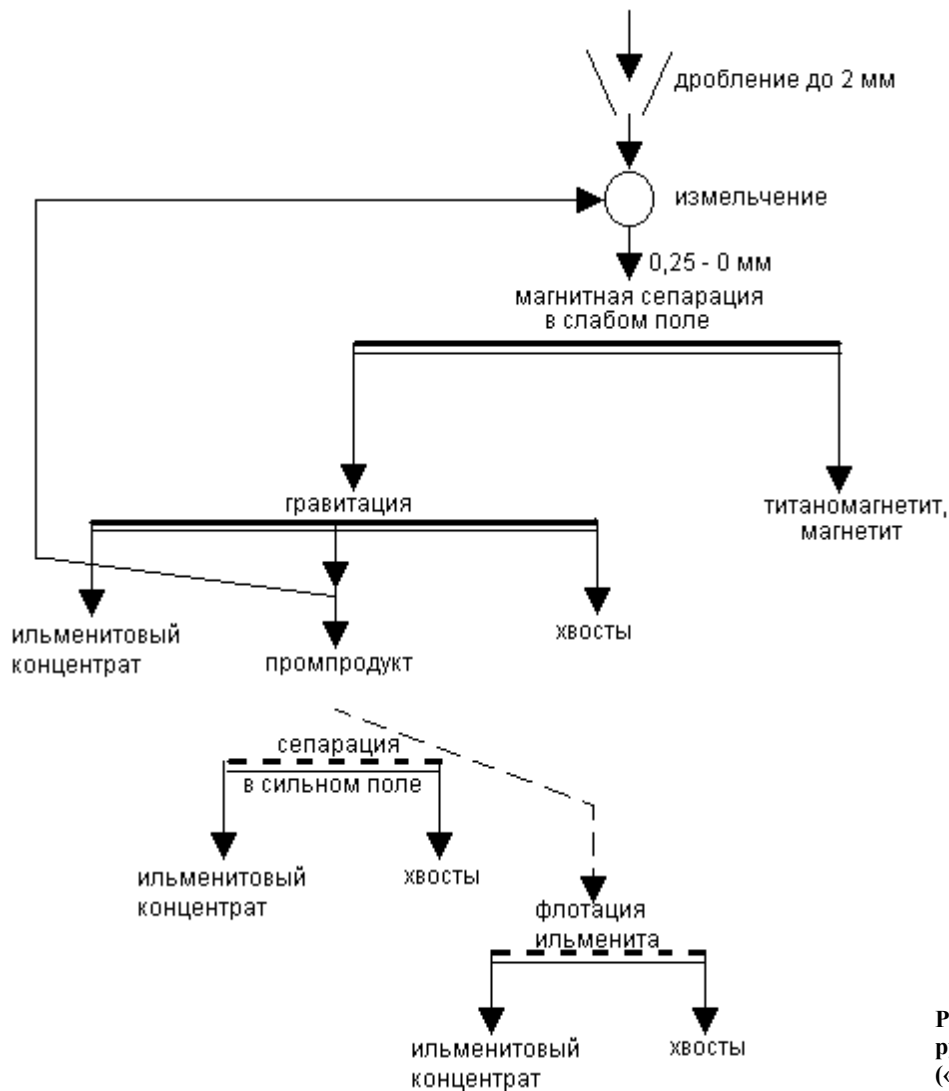


Рис. 7. Схема обогащения руд участка Суриваара («Механобр»)

Таблица 4

Химический состав концентратов (Зак, Киселев, 1957)

Оксиды	Номер пробы									
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
Fe вал.	36,54	36,90	34,65	34,47	35,40	33,40	33,3	37,8	35,18	35,10
TiO ₂	45,98	44,65	42,00	42,00	41,38	41,97	42,67	42,75	42,57	43,64
SiO ₂	0,65	1,15	0,64	0,52	1,06	1,36	1,96	0,96	1,16	1,16
Al ₂ O ₃	сл.	0,44	2,04	2,34	2,50	1,90	1,60	1,75	1,90	1,35
MnO	0,5	0,46	0,48	0,48	—	—	—	—	—	—
CaO	1,12	0,89	0,89	1,03	1,06	1,22	1,48	0,76	0,76	1,16
MgO	2,15	1,87	2,87	4,12	2,96	4,11	3,60	3,41	4,28	4,50
P ₂ O ₅	сл.	сл.	0,03	0,03	0,15	0,14	0,25	0,03	0,25	0,14
S	0,35	0,74	0,63	0,73	0,81	1,06	0,72	1,45	1,06	0,62

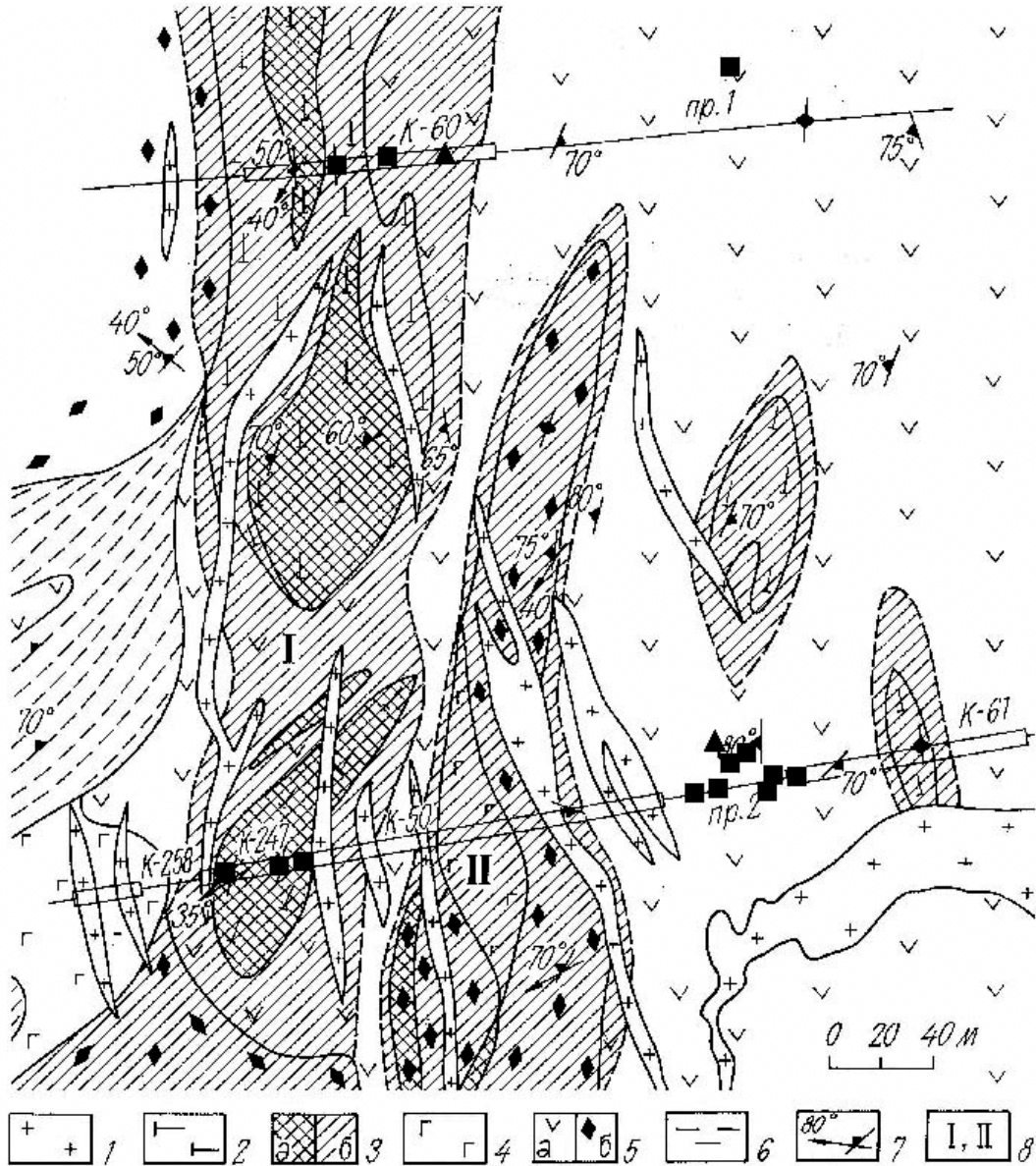


Рис. 8. Места отбора технологических проб, взятых на участках Суриваара (геологическая основа по данным А. И. Богачева и К. А. Ининой: Богачев и др., 1963):

1 – щелочные пегматиты; 2 – перидотиты, пироксениты; 3 – рудная залежь: а – титановая руда II сорта (TiO₂ 8–12%), б – титановая руда III сорта (TiO₂ 5–8%); 4 – габбро оливковое; 5 – габбро: а – крупнозернистое, б – среднезернистое, участками полосчатое; 6 – габбро мелкозернистое, 7 – полосчатость и линейность, 8 – залежи: I – Западная, II – Центральная. Места отбора проб: ■ – малые пробы (2 кг), ▲ – большие технологические пробы (10 кг)

Таблица 5

Химический состав крупнозернистых габбро, % по массе

Оксиды	Су 17	Су 19	Су 34	Су 39	Су 40	Су 53	Су 56	Су 57	Су 68	Су 69	Су 38
SiO ₂	26,68	37,80	37,04	36,70	36,10	34,52	34,70	35,86	39,12	35,00	39,00
TiO ₂	6,80	4,20	2,20	2,96	3,06	5,00	5,24	4,30	2,55	4,70	3,36
Al ₂ O ₃	11,90	8,81	17,40	23,31	22,71	13,60	14,00	14,80	14,54	14,43	12,13
Fe ₂ O ₃	17,82	8,73	8,09	8,12	6,47	8,83	7,67	8,42	6,35	8,56	6,19
FeO	14,65	10,34	9,10	6,82	9,48	11,13	12,09	10,78	9,58	12,09	9,55
MnO	0,248	0,186	0,172	0,130	0,132	0,186	0,174	0,176	0,178	0,170	0,165
MgO	8,51	11,19	10,20	3,67	5,51	8,44	7,50	6,30	9,40	7,30	9,98
CaO	11,18	16,70	11,22	13,11	12,20	14,60	14,60	15,54	14,56	14,98	16,57
Na ₂ O	0,50	0,62	0,90	1,27	1,46	0,68	0,94	0,71	1,08	1,14	0,66
K ₂ O	0,17	0,15	0,21	0,64	0,28	0,20	0,23	0,38	0,21	0,21	0,16
H ₂ O	0,17	0,07	0,30	0,45	0,27	0,16	0,26	0,12	0,20	0,18	0,18
ппп	0,91	1,04	2,84	2,31	2,05	2,12	2,04	2,03	1,87	0,79	1,82
P ₂ O ₅	0,10	0,12	0,10	0,08	0,10	0,13	0,16	0,12	0,03	0,07	0,08
Сумма	99,64	99,93	99,77	99,57	99,82	99,59	99,60	99,54	99,67	99,62	99,74

Таблица 6

Химический состав оливинового габбро, % по массе

Оксиды	Су 21	Су 23	Су 25	Су 26	Су 28	Су 42	Су 43	Су 44	Су 46	Су 71	Су 72	Су 74	Су 75
SiO ₂	25,46	32,16	24,98	26,89	35,56	28,12	40,30	33,72	30,08	16,50	27,68	12,98	21,26
TiO ₂	6,45	4,52	7,00	6,80	4,72	5,48	2,44	4,40	5,48	11,00	7,40	12,00	9,40
Al ₂ O ₃	17,16	15,71	11,77	9,40	8,25	17,76	16,80	14,65	16,13	12,38	13,70	11,46	15,80
Fe ₂ O ₃	17,24	11,24	18,29	17,57	10,79	11,71	4,62	8,31	11,10	21,93	13,11	25,06	17,25
FeO	17,24	12,93	15,94	16,76	10,63	16,28	8,94	13,76	15,20	24,90	17,72	25,89	20,83
MnO	0,22	0,186	0,246	0,194	0,198	0,218	0,04	0,196	0,216	0,226	0,220	0,246	0,258
MgO	5,88	8,55	7,94	8,30	11,80	8,95	9,00	8,85	7,95	5,27	6,78	5,96	4,85
CaO	7,22	11,89	10,47	11,54	15,85	8,35	15,02	13,20	9,78	5,18	10,22	4,48	7,56
Na ₂ O	0,87	1,00	0,55	0,4	0,56	0,73	1,02	0,77	0,83	0,67	1,22	0,58	1,16
H ₂ O	0,34	0,24	0,29	0,30	0,39	0,40	0,10	0,17	0,30	0,14	0,26	0,10	0,16
ппп	1,52	0,87	1,54	1,32	0,79	1,43	1,14	1,46	2,39	1,15	0,97	0,88	0,88
P ₂ O ₅	0,09	0,18	0,18	0,11	0,12	0,14	0,08	0,08	0,10	0,10	0,07	0,13	0,11
Сумма	99,69	99,48	99,20	99,58	99,66	99,57	99,50	99,57	99,56	99,45	99,35	99,77	99,52

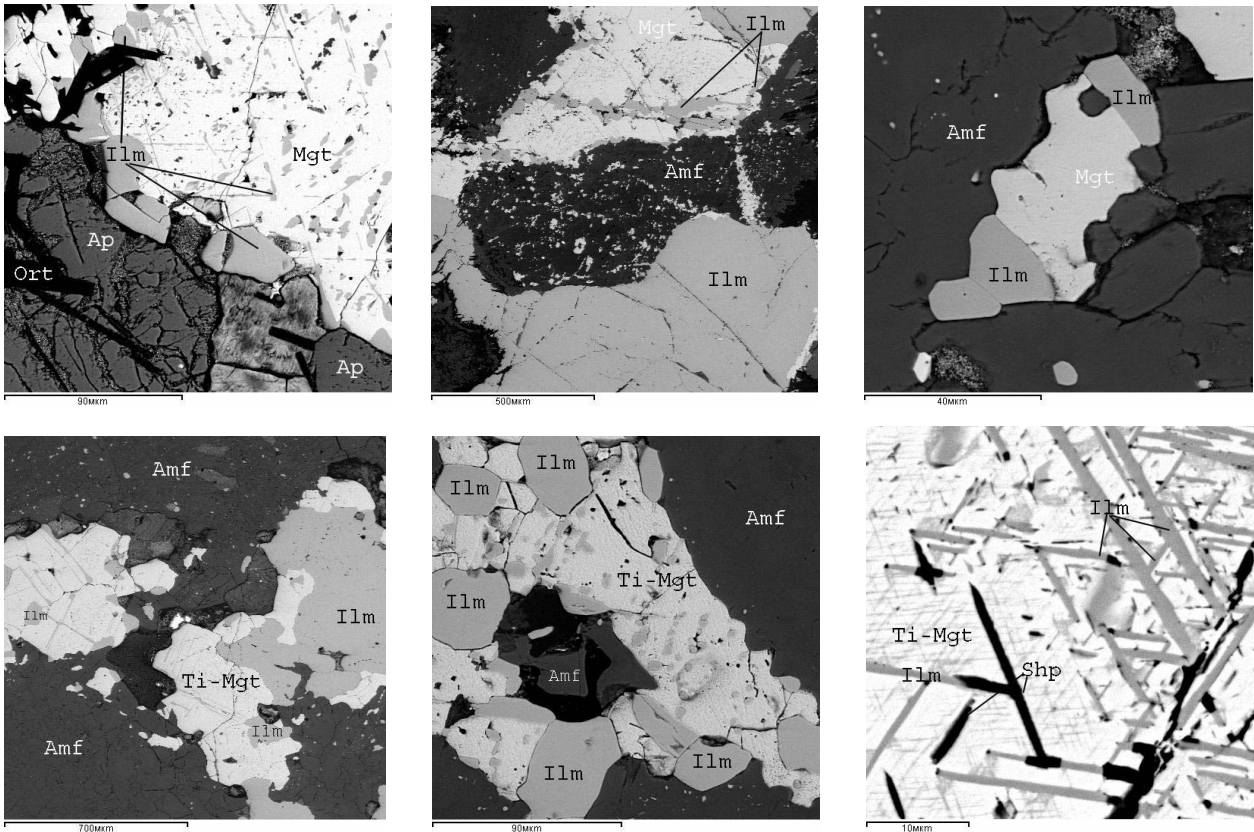


Рис. 9. Морфология выделений ильменита и титаномagnetита

Структурные особенности руд характеризуются данными табл. 7.

Таблица 7

Структурные особенности руд по технологическим пробам

Тип руд	Границы преобладающего размера вкраплений ильменита, мм	Количество проанализированных проб, %
Крупновкрапленные	Более 1,5	12,5
Мелковкрапленные	1,5–0,2	62,5
Тонковкрапленные	0,2–0,02	25

Руды с тонкой и эмульсионной вкрапленностью составляют 25%.

Анализ измельчаемости руд показал, что при одном и том же времени измельчения выход класса –0,074 мм не одинаков для всех типов руд. Распределение TiO_2 по классам крупности весьма неравномерное и зависит от размера и формы выделений ильменита, типа сростаний ильменита с породообразующими минералами и титаномагнетитом. Оптимальная крупность, при которой достигается удовлетворительное раскрытие ильменита и сильно магнитных минералов, зависит от вкрапленности руд и для разных типов пород изменяется от 20,5 до 35% класса –0,07 мм.

При измельчении крупно- и мелковкрапленных руд включений ильменита зерна ильменита легко освобождаются от сростков с другими породообразующими минералами. Мелковкрапленные руды характеризуются тесным взаимным прорастанием минералов, что обуславливает трудную раскрываемость зерен ильменита. Сухая магнитная сепарация проб при различной напряженности поля показала, что основная масса ильменита извлекается при напряженности поля не выше 850 кА/м (рис. 10).

При обогащении руды, содержащей более 25% полевого шпата, лучшие результаты получены при использовании гравитационных методов. Разделением на концентрационном столе получены черновые концентраты, содержащие более 24,3% TiO_2 из легкообогатимых руд, из труднообогатимых – не более 18% TiO_2 . Руды, где преобладает оливин или амфибол, успешно обогащаются методом магнитной сепарации.

Качество извлекаемого магнитной сепарацией чернового ильменитового концентрата иллюстрируется табл. 8.

Таблица 8

Качественно-количественные показатели основной магнитной сепарации

Продукты	Выход	Содержание ильменита	Извлечение ильменита
Черновой ильменитовый концентрат	3–16	18,4–24,3	65–98
Промпродукт 1	16–24	0,11–2,8	0,7–9,12
Промпродукт 2	18–22	0,4–2,6	0,7–12,7
Хвосты	38–58	0,07–0,8	0,7–13,2

По характеру распределения TiO_2 в магнитной и немагнитной фракции опробованные руды можно разделить на три группы:

1) содержание TiO_2 в магнитной фракции равно содержанию TiO_2 в немагнитной фракции – труднообогатимые руды;

2) содержание TiO_2 в магнитной фракции больше, чем содержание TiO_2 в немагнитной фракции, – среднеобогатимые пробы;

3) содержание TiO_2 в магнитной фракции меньше, чем в немагнитной, – легкообогатимые.

Черновой концентрат легкообогатимых крупновкрапленных руд содержит 28–29% TiO_2 . Степень обогащения таких руд в первичной стадии достигает 10. Селективность разделения труднообогатимых руд очень низкая. Степень их обогащения механическими методами не превышает 1,5.

Наиболее стабильна по составу и технологическим параметрам зона оливиновых габбро мощностью 60 м (разведочный профиль 36) со средним содержанием TiO_2 9,93%. По характеру обогатимости руды зоны оливиновых габбро участка можно разделить на два типа:

– легкообогатимые руды, отличающиеся повышенным содержанием TiO_2 в немагнитной фракции, – 87,5%;

– труднообогатимые руды с тонкой вкрапленностью, которые при магнитной сепарации дают продукты с одинаковым содержанием TiO_2 , количество которых не превышает 12,5%.

Принципиальная схема комплексного обогащения таких руд, показанная на рис. 10, включает дробление до 15 мм, сортировку (возможно радиометрическую) для удаления пустой породы, доизмельчение, магнитную сепарацию в слабом поле с шестью пересчетками для выделения титаномагнетита, обесшламливание по зерну 0,02 мм, гравитационное обогащение для выделения ильменита и магнитной сепарации в сильном поле для выделения оливина и других слабомагнитных минералов и их сростков. Такая схема переработки позволяет использовать руду комплексно и является щадящей для экологии, так как исключает использование флотации.

Проведенные исследования ильменитовых руд не снимают с повестки практическую значимость выявленных еще в 50-е годы рудных залежей Суриваара, а наоборот, в силу возможного комплексного использования усиливают акцент в сторону актуальности дополнительного геолого-технологического изучения. Рентабельность разработки месторождения может быть повышена при полном или частичном использовании получаемых при обогащении полевых шпатов и оливина.

Щелочные и нефелиновые сиениты (Елетьозерский массив)

Нефелиновые и щелочные сиениты широко используются взамен полевошпатового сырья в качест-

ве флюса в составе керамических масс и алюмосиликатного компонента в стекольном производстве. Преимуществом этих пород перед традиционными источниками полевошпатового сырья (гранитными

пегматитами) является более высокое содержание в них щелочных оксидов и глинозема, выдержанное качество и очень большие запасы в пределах отдельных месторождений.

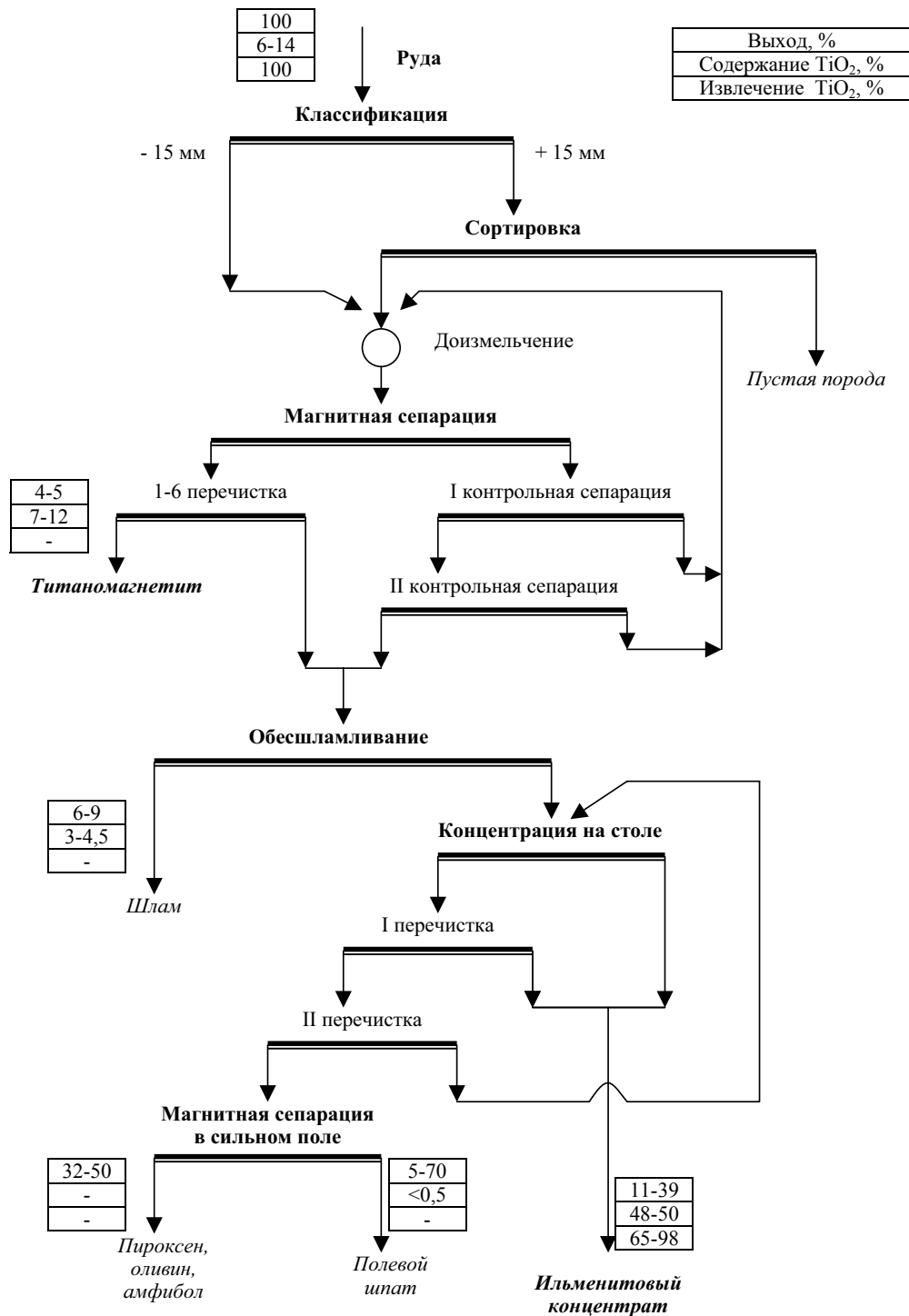


Рис. 10. Принципиальная схема обогащения забалансовых ильменитовых руд

Озеро Нижнее разделяет единое тело на два участка, названные нами как «Южный» и «Северный» (рис. 11). Контуры залегания сиенитов в значительной мере определяются по геофизическим данным.

В значительной степени сиениты перекрыты чехлом четвертичных отложений, мощность которых может превосходить 10 и более метров. Вместе с тем фиксируются участки, где встречены естественные

выходы на поверхность сиенитов. Как правило, это небольшие возвышенности, бугорки среди заболоченной низменной территории. С учетом стабильности состава, текстурно-структурных особенностей и хорошей обнаженности, основное внимание при изучении сиенитов уделено породам северной части месторождения, где выделено два перспективных участка.

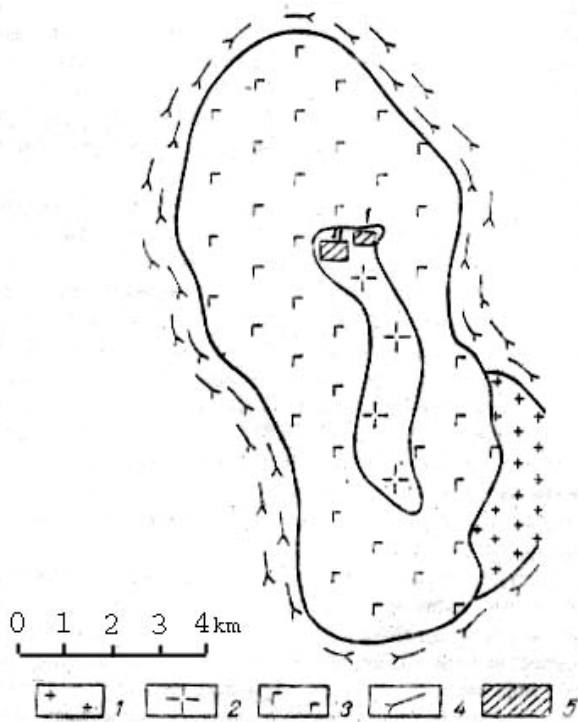


Рис. 11. Карта-схема с перспективными участками:

1 – гранит; 2 – щелочной сиенит; 3 – габброид; 4 – комплекс основного; 5 – детальные участки

Участок «Южный» имеет субмеридиональную вытянутость на 6 км при ширине 2 км. Сиениты контактируют главным образом с оливинным габбро. В южной части нефелиновые сиениты обнажаются на гряде с отм. 159,2 м, вытянутой в субширотном направлении. Порода имеет средне- или крупнозернистые структуры, серый цвет и ярко выраженную трахитоидную текстуру. Визуально хорошо различимы в породе микроклин (3×6 мм) бледно-розового цвета, нефелин серого и темно-серого цвета (2×4 мм), гнездообразные скопления мелкозернистого биотита. Микроскопически определены полевой шпат (в основном микроклин-пертит) от 75 до 90%. Нефелин, наряду с фенокристовыми образованиями, представлен мелкими зернами, расположенными по периферии микроклин-пертитов. В составе сиенитов присутствуют биотит, эгирин, геденбергит. В виде аксессуарных отмечены канкринит, апатит, карбонат.

Вещественный и минеральный состав сиенитов по участкам приведен в табл. 9, 10.

Таблица 9

Вещественный состав сиенитов Елетьозера

Химический состав	Северный участок	Центральный участок	Южный участок
SiO ₂	58,47	48,8–54,04	53,56–54,62
TiO ₂	0,80	0,3–0,75	0,54
Al ₂ O ₃	18,43	20,15–24,83	20,39–22,92
Fe ₂ O ₃	5,91	0,6–2,54	2,30–2,91
FeO	0,16	2,16–3,02	2,16–3,32
CaO	0,70	0,12–0,22	0,1–0,22
MnO	2,16	0,05–0,71	0,46–0,79
MgO	6,37	0,63–16,01	0,42–1,97
Na ₂ O ₃	6,43	4,00–8,28	6,81–7,50
K ₂ O	0,19	5,50–7,35	6,25–9,70
H ₂ O	0,59	0,08–0,26	0,1
ппп		0,85–2,90	1–1,12

Сиениты центральной части более мелкозернисты. Полевые шпаты раздроблены. Состав пород непостоянный. Количество нефелина увеличивается до 26%, он часто замещается канкринитом. Увеличивается, по сравнению с северной частью, и содержание темноцветных минералов, среди которых преобладает мелкозернистый биотит и эпидот. Породы южной части микроклинизированы и характеризуются высоким содержанием магнетита.

На северном берегу оз. Нижнего в районе песчаной косы нами был вскрыт непосредственный интрузивный контакт габбро и сиенитов, который однозначно показывает внедрение последних в габбро. Восточный контакт в этой полосе имеет прямолинейный, резкий и активный характер. Все эти факты говорят в пользу того, что существовал определенный временной разрыв в формировании указанных комплексов. При изначальном недостатке кислорода и насыщении приростом щелочей произошло образование сиенитов, включая нефелиновые. Соотношение между кремнеземом и щелочами способствовало образованию недосыщенного кислородом нефелина.

Образования представлены лейкократовыми, серыми и светло-серыми щелочными сиенитами. Преимущественно порода среднезернистая (2–3 мм), реже мелкозернистая (0,5–1 мм) и крупнозернистая (0,5–1 см) до пегматоидной разновидности. Отмечается трахитоидность, выраженная субпараллельным расположением кристаллов полевых шпатов и темноцветных минералов (рис. 12).

Минеральный состав породы представлен микроклин-пертитом (75–85%), альбитом, нефелином. Меланократовые минералы – эгирин-авгит, арфедсонит, биотит. Акцессорные – сфен, апатит, магнетит, флюорит.

Плотность сиенитов северной части составляет 2,76–2,78 г/см³, увеличиваясь до 2,8 г/см³ на участках пород, обогащенных темноцветными. Магнитная восприимчивость сиенитов (15–48 · 10⁻³ ед. СИ) достаточно высокая для полевошпатовых пород и определяется присутствием магнетита, количество которого в пробах составляет 2,0–2,5%, железосодержащих слюд и ряда силикатов, характеризующихся высокими значениями удельной магнитной восприимчивости.

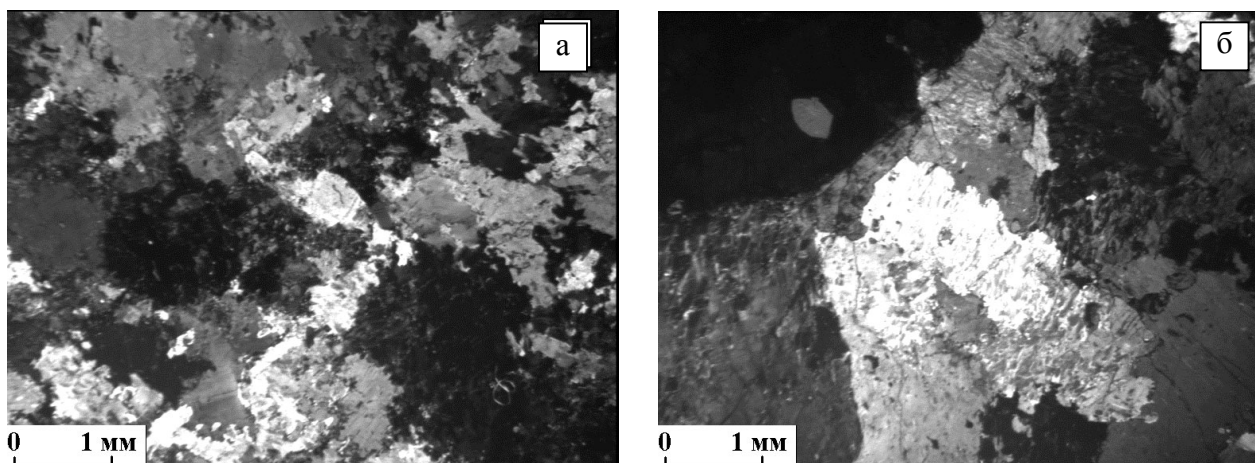


Рис. 12. Нефелиновые сиениты:

а – мелкозернистые; б – средне-, крупнозернистые

Таблица 10
Минеральный состав сиенитов

Минералы	Северный участок	Центральный участок	Южный участок	Норвегия, м. Стьерноя
Микроклин	54,5–61,75	39,24–42,85	45,32–65,94	56
Плагиоклаз	17,72–22,06	3,05–22,65	14,3816,98	
Нефелин	1,2–1,45	0–25,87	4,1–8,85	34
Конкринит	–	0–6,72	2,26–4,04	
Скаполит	–	0–23,5	–	
Бiotит	3,73–6,71	9,6–11,99	1,82–6,53	
Щелочной амфиболит	4,0–5,1	–	0–20,86	
Апатит	0,43–0,75	0,01–0,16	0,12	
Магнетит	1,43–2,20	0,01	4,18	
Эпидот	0,03–0,06	15,93	–	
Сфен	0,89–1,05	0,01–0,74	–	
Пироксен	2,4–6,55	–	–	
Акцессорий	0,31–1,06	0,38–2,87	–	

Первые опыты по обогащению сиенитов выполнены в 1975 г. на материале двух проб – 1/75 и 2/75, отобранных в центральной части месторождения (Пекки, Скамницкая, 1977). По схеме, включающей сухую магнитную сепарацию в несколько стадий, были получены высококачественные концентраты, состоящие на 50–60% из микроклина, 40–45% альбита и нефелина. Сумма щелочных оксидов в концентратах составила 14,0–15,5, содержание оксидов железа – менее 0,15%.

Технологически сиениты Северного участка на всех стадиях изучались по лабораторным и укрупненным пробам. Оценивалась эффективность методов сухой магнитной сепарации (сепараторы Т-138СЭМ и 229 СЭ барабанного типа в полях с напряженностью 12000–17000 эрстед). Установлено, что обогащение методом мокрой магнитной сепарации на полиградиентных сепараторах 259-СЭ и 248-СЭ приводит к снижению содержания Fe_2O_3 до 0,1% оксидов железа. В результате испытаний, проведенных в МНТК «Механобр», в режиме магнитной технологии получен маложелезистый концентрат с последующей наработкой по уточненной технологии (рис. 13) опытной партии маложелезистого концентрата в количестве 2 т.

Оптимальные показатели, которые следует ожидать при обогащении сиенитов Северного участка, пред-

ставлены в табл. 11, 12. В период с 2002 по 2004 г. ЗАО «Транском» осуществило разведку и подготовку к промышленной эксплуатации части Северного участка месторождения сиенитов с привлечением по хозяйственным ГУП РК «Северная ПРЭ», ФГУП «ГИГХС» и ИГ КарНЦ РАН. Был выбран участок, находящийся на контакте с габбро (Отчет..., 2005).

Таблица 11
Оптимальные показатели полевошпатового концентрата

№ пп	Наименование показателя	Содержание, мас. %
1	Массовая доля окиси железа (Fe_2O_3) не более	0,2
2	Массовая доля алюминия (Al_2O_3)	20–21
3	Массовая доля калия (K_2O)	6,5–7,5
4	Массовая доля натрия (Na_2O)	6,5–7,5
5	Массовая доля двуокиси кремния (SiO_2)	63–65
6	Массовая доля кальция и магнезия ($CaO + MgO$)	Не более 1
7	Массовая доля влаги не более	0,5
8	Массовая доля хрома (Cr_2O_3) не более	0,07
9	Содержание серы и хлора	Отсутствие
10	Остаток на сетке не более:	
	0,315	0,6
	0,16	5–9,2
	–0,1	58–60

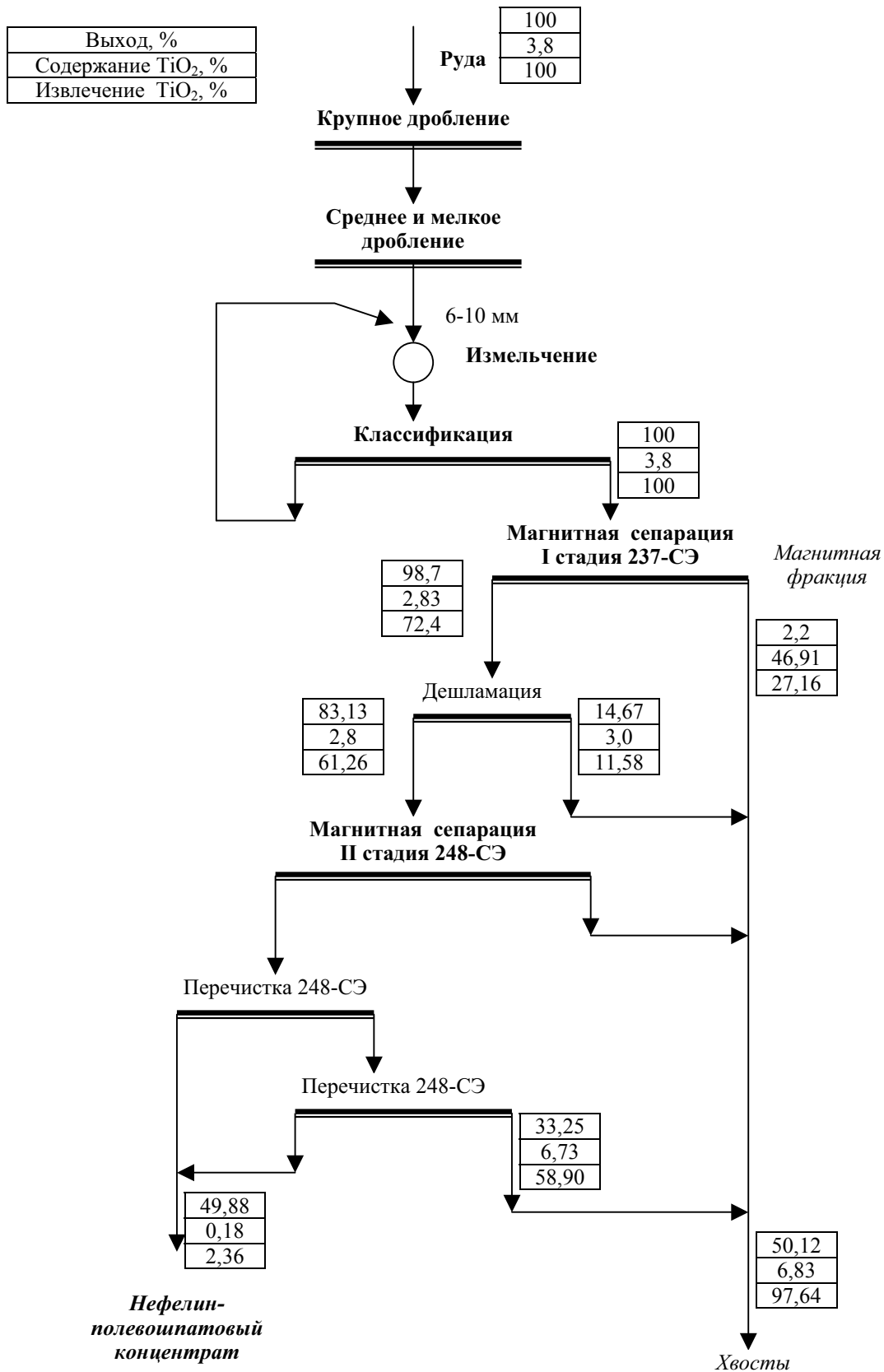


Рис. 13. Уточненная технологическая схема получения нефелинового концентрата (по данным укрупненных испытаний института «Механобр»)

Таблица 12

Минералогический анализ продуктов, полученных при магнитном обогащении сиенитов Елетьозера

Минералы	Магнитная сепарация исходного материала, измельченного до крупности 32% –0,074 мм					
	Готовый продукт – концентрат			Хвосты		
	Общее содержание, %	Содержание свободных минералов, %	Содержание минералов в сростках, %	Общее содержание, %	Содержание свободных минералов, %	Содержание минералов в сростках, %
Нефелин, полевые шпаты	99,3	91,2	8,1	52,0	–	52,0
Силикаты Fe-содержащие (эгирин, лепидомелан и др.)	0,5	0,20	0,30	43,7	30,8	12,9
Рудные минералы (магнетит, ильменит)	0,2	0,10	0,10	5,3	00,5	4,8
Апатит, карбонаты и др.	Ед. зерна			Ед. зерна		

Массовая доля полезных компонентов в руде этой части участка составила (%): SiO_2 – 55,7–56,6; Al_2O_3 – 17,3–17,5; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 12,0. Калиевый модуль $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ – 1,0–1,1, Fe_2O_3 в среднем по руде – 6,8%.

Общий выход обогащенного сиенита с содержанием Fe_2O_3 общ. <0,2% из балансовой руды составил 51–52%. При использовании измельчительного комплекса КИ-0,36 выход продукции составил 55–56%.

Проведенные на этой стадии технологические испытания по магнитному обогащению показали возможность применения сепараторов на постоянных магнитах для получения высококачественного обогащенного сиенита с приемлемым выходом до 53% от балансовой руды. Схема обогащения при производительности комплекса 50 т/час (по оценкам специалистов фирмы Raoul LENOIR) по исходному сиениту включает три сепаратора: ТАР-1, SLT и Rollap-300 и

один роликовый магнитный сепаратор типа Rollap-300 (Киселев и др., 2005).

Запасы сиенитов для производства керамо-гранитной плитки утверждены протоколом № 14-04 ТКЗ при Управлении недропользования по Карелии в количестве 4282 тыс. т по категории C_1+C_2 .

Выводы

Таким образом, комплексные исследования участков с развитием на них таких ценных минеральных образований, как ильменит, титаномагнетит и сиениты, показали промышленную значимость этих объектов. Совершенствование технологических методов позволяет оценить доступность недр с позиций современного взгляда на геологию, технологию, экономику и экологию, и как следствие прогнозируется формирование новых минерально-сырьевых потоков.

ЛИТЕРАТУРА

Богачев А. И., Зак С. И., Сафронова Г. П., Инина К. А. Геология и петрология Елетьозерского массива габброидных пород Карелии (геология, петрография, петрология, металлогения). М.; Л., 1963. 160 с.

Вахрушев В. А. Рудные минералы изверженных и метаморфических пород. М., 1988. 199 с.

Зак С. И., Юдин Б. А. Главнейшие титаноносные формации Кольского полуострова и Северной Карелии // Проблемы магматизма Балтийского щита. Л., 1971. С. 118–123.

Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / Кухаренко А. А., Орлова М. П., Булах А. Г. и др. М., 1965. 772 с.

Киселев В. А., Ноздря В. И., Саморукова В. Д. и др. Опыт обогащения нефелинсодержащих сиенитов в качестве сырья для изготовления керамо-гранитной плитки на сепараторах с постоянными магнитами // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. Петрозаводск, 2005. С. 100–102.

Кулмала Т. К., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. и др. Петрохимия, геохимия и обогащение щелочных сиенитов Елетьозерского массива // Минеральное сырье Лоухского района. Петрозаводск, 1991. С. 35–54.

Кулмала Т. К., Савицкий А. И., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Новый геолого-технологический этап изучения ильменитовых руд участка Суриваара (Елетьозерский мас-

сив) // Вопросы геологии, магматизма и метаморфизма докембрия Карелии. Петрозаводск, 1994. С. 70–73.

Кухаренко А. А., Орлова М. П., Багдасаров Э. А. Щелочные габброиды Карелии. Елетьозерский массив – петрология, минералогия, геохимия. Л., 1969. 183 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 1: Горючие полезные ископаемые. Металлические полезные ископаемые. Петрозаводск, 2005. 280 с.

Осокин А. С. Размещение и вещественный состав апатит-титаномагнетит-ильменитовых руд массива Гремяха-Вырмес. Апатиты, 1987. 90 с.

Пекки А. С., Разоренова В. И. Месторождение полевошпатового сырья Карелии. Л., 1977. 152 с.

Пекки А. С., Скамницкая Л. С. Нефелиновые сиениты Елетьозера – перспективный источник полевошпатового сырья // Минеральное сырье Карелии. Петрозаводск, 1977. С. 39–47.

Уйджер Л. П., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М., 1970. 552 с.

Шарков Е. В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. М., 2006. 386 с.

Chernet T., Kärkkäinen N. Geology and mineralogy of the Koivusaarenneva ilmenite deposit, Kälviä, western Finland // Geol. Survey of Finland, Special paper 20, 1995. P. 17–22.

Duchesne J.-C. Fe-Ti deposits in Rogaland anorthosites (South Norway): geochemical characteristics and problems of interpretation // Mineralium Deposita. 1999. 34. P. 182–198.

Фондовая

Kärkkäinen N. The Koivusaarenneva gabbro, Finland // Papunen H. Mineral deposits; research and exploration, where do they meet? Proc. Fourth Biennial SGA Meeting, Turku/Finland. A.A.Balkema; Rotterdam, 1997. P. 443–444.

Kärkkäinen N., Appelqvist H. Genesis of a low-grade apatite-ilmenite-magnetite deposit in the Kauhajärvi gabbro, western Finland // Mineral Deposits. 1999. 34. P. 754–769.

Korneliussen A. Rutile associated with eclogites in Western Norway and scapolitized gabbros in Southern Norway // Norges geol. unders. Bull. 1995. N 427. P. 112–115.

Korneliussen A., Foslie G. Rutile-bearing eclogites in the Sunnfjord region of Western Norway // Norges geol. unders. Bull. 1985. N 402. P. 65–71.

Korneliussen A., Ihlen P., Gautneb H. et al. Industrial mineral resources in Norway – future outlook // Northern Lights – a mineral focus on Nordic countries & north-west Russia. Forum & Dinner Event Proceedings. Helsinki, 2006.

Богачев А. И. и др. Щелочные комплексы Карелии, их рудоносность и локальное прогнозирование (северная Карелия, Приладожье). Кн. 1 // Архив КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1988.

Григорьев Г. В. и др. Отчет по теме: «Оценка перспектив апатитоносности габброидов Карело-Кольского региона» // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1982.

Зак С. И., Киселев Ю. Ф. Отчет о поисково-разведочных работах на Ельтьозерском титановом месторождении в 1954–1956 гг. // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1957.

Кириллов А. И. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на апатит в пределах Ельтьозерского и Тикшозерского массивов за 1977–1981 гг. СПб., СЗГТФ, 1981 г.

Неуструев Ю. С. Окончательный отчет Тикшозерской партии № 12 (Геологическая съемка мелкого масштаба площади Ельтьозеро – Тикшозеро). СПб., СЗГТФ, 1937 г.