

6. Степанов, В.А. Перспективы золотоносности Приамурской провинции / В.А. Степанов // Руды и металлы. — 2013. — № 1. — С. 25–32.
7. Степанов, В.А. Бамское золоторудное месторождение (геология, минералогия и геохимия). / В.А. Степанов, В.Е. Стриха, А.А. Черемисин и др. — Владивосток: Дальнаука, 1998. — 209 с.
8. Эйриш, Л.В. Токурское золоторудное поле: геология, геохимия, генезис. / Л.В. Эйриш, Н.С. Остапенко, В.Г. Моисеенко. — Хабаровск: АмурКНИИ, 1998. — 149 с.

© Степанов В.А., Мельников А.В., 2017

Степанов Виталий Алексеевич // vitstepanov@yandex.ru  
Мельников Антон Владимирович // anton\_amur@mail.ru

УДК 550.424.6

**Криночкина О.К., Лаврусевич А.А. (Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ))**

#### **ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ И РУДОГЕННЫХ АНОМАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И КРИТЕРИИ ИХ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ**

*Описаны условия проявления техногенных и рудогенных аномальных геохимических полей, а также обоснованы критерии их дифференциации на основе полевых наблюдений и обработки геохимических данных с помощью методов математической статистики и современных ГИС-технологий. **Ключевые слова:** аномальные геохимические поля, критерии дифференциации, горнорудные комплексы, статистические методы, месторождения, зона влияния.*

Krinochkina O.K., Lavrusevich A.A. (Moscow state construction university)

#### **DEVELOPMENT OF TECHNOGENIC AND NATURAL ABNORMAL GEOCHEMICAL FIELDS AND ITS HALLMARKS**

*The article describes the conditions of appearance of technogenic and natural abnormal geochemical fields. Some criteria for their differentiation on the basis of field observations and processing of geochemical data using mathematical statistics methods and modern GIS technologies are substantiated. **Keywords:** abnormal geochemical fields, criteria of differentiation, ore mining complex, statistical methods, deposits, zone of influence.*

Дифференциация природных и техногенных аномальных геохимических полей является чрезвычайно важной проблемой как в связи с оценкой антропогенного воздействия на окружающую среду (ОС), так и при поисковых работах. Особенно это актуально при проведении поисковых работ в старых горнорудных районах.

Интерпретация природы аномальных геохимических полей (АГП) в основном сводится к дифференциации рудогенных и техногенных аномальных полей, поскольку влияние региональных геохимических особенностей компонентов природных геологических сред может быть сведено к минимуму при выделении АГП процедурой нормирования на их фоновые значения [1]. Основные критерии дифференциации рудогенных и техногенных аномальных геохимических полей описывались еще в работах Л.А. Беуса (1976), С.В. Григоряна (1980), А.А. Головина (1999) и др. Разработанные предшественниками критерии успешно позволяют решать

вопросы рудно-формационной принадлежности рудогенных аномалий путем идентификации ранжированного ряда накопления химических элементов АГП с обобщенными рядами известных месторождений [4, 5].

Аналогичный подход использовался авторами при определении природы техногенных геохимических аномалий. В основе его лежит тот же принцип сходства источника загрязнения (обогащения) и связанного с ним АГП, что позволяет установить пространственную и генетическую связь АГП с источником вещества. Авторами проводилось изучение АГП техногенного и рудогенного генезиса в Ловозерском районе Мурманской области (в пределах деятельности ГРК ОАО «Апатит»), а также в Бийском, Змеиногорском и Золотушинском районах Рудного Алтая.

Анализ полученного авторами фактического материала позволил установить некоторые критерии дифференциации природных (рудогенных) и техногенных аномальных геохимических полей в пределах горно-промышленных комплексов (ГПК) и зонах их влияния, наиболее надежными из которых являются: морфологические особенности АГП; внутренняя структура АГП; геохимические особенности АГП.

Под **морфологическими особенностями АГП** авторы понимают его конфигурацию в плане. Как известно, **техногенные АГП в плане коррелируют с преобладающим направлением ветров и мощностью источника загрязнения**. Особенно наглядно это проявляется при изучении АГП в почвах. Так, установленная авторами зона загрязнения почв, связанная с Кировским рудником, прослежена от него в юго-восточном направлении и имеет протяженность около 6 км. Здесь же, в пределах деятельности горнорудного комплекса (ГРК) ОАО «Апатит» отмечаются и другие источники формирования техногенных АГП в почвах. Это — хвостохранилище ныне закрытой апатит-нефелиновой обогатительной фабрики (АНОФ-1), отстойники ТЭЦ, хвостохранилище действующей апатит-нефелиновой обогатительной фабрики (АНОФ-2). Протяженность от вышеупомянутых источников загрязнения достигает 3 км [2]. Все техногенные аномалии ориентированы от эпицентров и по направлению преобладающих направлений ветров данной местности.

В донных осадках морфология АГП определяется мощностью и типом источника вещества. По литературным данным природные (рудогенные) АГП, особенно в горных районах, тянутся на сотни километров и, более того, имеют даже площадное выражение. Это связано с множественностью источников вещества, поставляющих материал в водотоки на всем их протяжении. Техногенные же АГП не столь протяженны и локализованы, как правило, вблизи источника загрязнения. По данным Л.А. Криночкина изучение зоны загрязнения донных осадков р. Глубочанка Белоусовским ГОКом (Алтайский край) показало, что, несмотря на функционирование предприятия в течение нескольких десятилетий, ее протяженность составляет не более 10 км. Другим примером техногенного загрязнения донных осадков в пределах ГРК являются аномалии, приуроченные к Кировскому руднику (основные элементы в геохимической ассоциации Ni, Cd, Sr, P), от-

стойникам ТЭЦ (As, Hg, Sb, Cd, Cr, Ni), хвостохранилищу АНОФ-2 (Mo, Cu, Ni, Sb, W, Hg). Они характеризуются относительно малой протяженностью (до 1,5–2 км), высокой комплексностью и интенсивностью. Причем в ряду элементов накопления невозможно проследить закономерного ассоциативного ряда, характерного для какой-либо рудной формации. Обычно для рудогенных АГП их пространственная связь с источником просматривается при совмещении карты интегральных геохимических аномальных полей с картами, отражающими распределение на площади рудогенных объектов (рудных районов, месторождений и т.п.), что было неоднократно прослежено при региональных геохимических работах в Бийском и Змеиногорском районах Алтайского края.

**Внутренняя структура АГП** рудогенной и техногенной природы существенно отличается. В разрезе почвенного профиля для природных АГП характерно увеличение интенсивности и размера рудогенных аномалий по мере их приближения к коренным породам, а для техногенных — к источнику загрязнения [4]. Именно поэтому для техногенных АГП характерно интенсивное накопление химических элементов в горизонте «А», а для рудогенных — в аккумулятивном иллювиальном горизонте вымывания — «В». Однако эта зависимость не всегда линейна, и тут необходимо учитывать и ландшафтно-геохимические условия территории [6]. Авторами в пределах зоны влияния ГРК «Апатит» (Хибины) была построена серия моноэлементных карт распределения отношения концентраций химических элементов в почвенных горизонтах «В» и «А». В результате были получены контрастные природные АГП ряда элементов. На рис. 1 приведена одна из таких карт. Она была построена путем нормирования коэффициентов концентраций Мо в почвах горизонта «В» к горизонту «А» и выявила природную (рудогенную) аномалию Мо, которая подтверждается повышенными концентрациями

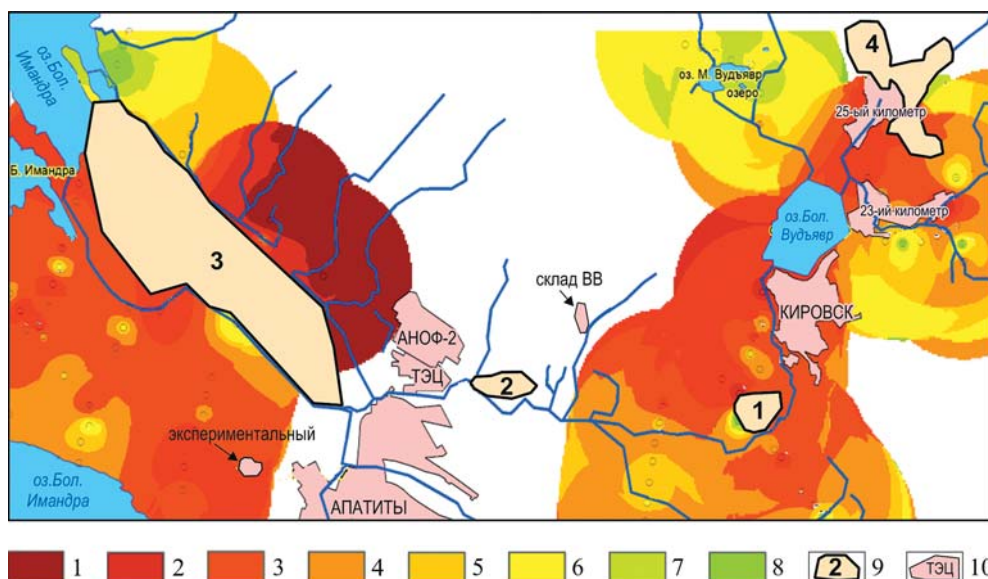
(относительно фона) его элементов-спутников (As, Ag, Zn, Cu, Ni, Sb, W и ряда редкоземельных элементов) в почвах горизонта «В» в пределах того же геохимического поля. Аномалия имеет высокую контрастность и комплексность, что наиболее проявлено в ее ядерной части. Таким образом, данная аномалия не является техногенной, хотя и находится в зоне влияния ГРК в непосредственной близости от хвостохранилища АНОФ-2, прилегающая к нему с северо-востока.

**Геохимические особенности** рудогенных и техногенных АГП, с точки зрения интерпретации их природы, заключаются в сопоставлении их составов с источниками формирования. В почвах состав рудогенных АГП определяется составом сопряженных с ними аномальных полей, имеющих широкое развитие в коренных породах. При этом абсолютного их сходства не наблюдается. Оно обнаруживается в преимущественном развитии в почвах аномалий элементов, которые, как правило, наиболее широко распространены в коренных породах и являются типоморфными элементами местности.

В пределах ГРК «Апатит» и в зоне его влияния авторами было зафиксировано, что рудогенные элементы и их спутники, такие как Ag, Fe, Th, U, Zr, Sc, Lu, Cr, Ti, Nb, I и Hf аккумулируются, как правило, в иллювиальном горизонте вымывания, т.е. горизонте «В», а техногенно-обусловленные элементы (Zn, Mn, Rb, Ba, Pb, Cd, Ni, Cu, Tl и Sn) — преимущественно в горизонте «А» [3].

Кроме того, для дифференциации природных и техногенных АГП были проведены обширные статистические исследования. В результате было установлено, что почвы фоновых и рудоносных площадей в районе Белоусовского ГОКа характеризуются высокой степенью корреляции между содержаниями элементов в горизонте «А» и концентрациями этих же элементов в горизонте «В», которая может существенно нарушаться в почвах зон техногенного загрязнения (таблица). Приведенные в таблице значения коэффициентов корреляции показывают, что наиболее существенные понижения его значений в зоне техногенного загрязнения характерны для следующих элементов: Ba, Ti, Mn, Cu, Ag, Zn, Pb, Sn, Mo, а его повышение — Li, Cr, V, Ni, Co, Ga, Sc, Y, Yb, Zr, Nb и W.

И если снижение корреляционных связей вполне объяснимо именно их дополнительным привнесом за счет влияния техногенных факторов, то усиление связей второго рода элементов связано с геохимическими особенностями почв территории локализации техногенного АГП, что подтверждается и данными Ю.Е. Саета и др. [8].



**Рис. 1.** Распределение отношений коэффициентов концентраций молибдена в почвах горизонта «В» к горизонту «А»: 1–8 — значения отношений коэффициентов концентраций: 1 — 50–100; 2 — 50–20; 3 — 20–10; 4 — 10–6; 5 — 6–3; 6 — 3–1,5; 7 — менее 1,5; 8 — 3–1,5; 9 — хвостохранилища; 10 — другие объекты техногенного и антропогенного воздействия на ОС

**Значения коэффициентов корреляции между концентрациями химических элементов в горизонте «А» и их содержаниями в горизонте «В» (фракция – 1,0 мм)**

Пары элементов	Хим. элементы	Коэффициенты корреляции			Хим. элементы	Коэффициенты корреляции		
		Фоновая площадь	Рудогенное АГП	Техногенное АГП		Фоновая площадь	Рудогенное АГП	Техногенное АГП
Li <sub>A</sub> – Li <sub>B</sub>	Li	<b>0.477</b>	0.106	<b>0.741</b>	Pb <sub>A</sub> – Pb <sub>B</sub>	<b>0.397</b>	<b>0.916</b>	<b>0.524</b>
Sr <sub>A</sub> – Sr <sub>B</sub>	Sr	<b>0.349</b>	<b>0.389</b>	<b>0.436</b>	Sn <sub>A</sub> – Sn <sub>B</sub>	<b>0.799</b>	<b>0.789</b>	<b>0.364</b>
Ba <sub>A</sub> – Ba <sub>B</sub>	Ba	<b>0.934</b>	<b>0.937</b>	<b>0.632</b>	Mo <sub>A</sub> – Mo <sub>B</sub>	<b>0.648</b>	<b>0.711</b>	0.039
Ti <sub>A</sub> – Ti <sub>B</sub>	Ti	<b>0.651</b>	<b>0.457</b>	-0.632	Ga <sub>A</sub> – Ga <sub>B</sub>	<b>0.905</b>	0.197	<b>0.632</b>
Mn <sub>A</sub> – Mn <sub>B</sub>	Mn	<b>0.861</b>	<b>0.939</b>	0.307	P <sub>A</sub> – P <sub>B</sub>	<b>0.490</b>	<b>0.481</b>	—
Cr <sub>A</sub> – Cr <sub>B</sub>	Cr	<b>0.886</b>	<b>0.509</b>	<b>0.838</b>	Sc <sub>A</sub> – Sc <sub>B</sub>	<b>0.630</b>	-0.055	<b>1.00</b>
V <sub>A</sub> – V <sub>B</sub>	V	<b>0.663</b>	<b>0.549</b>	<b>0.767</b>	Y <sub>A</sub> – Y <sub>B</sub>	<b>0.645</b>	<b>0.795</b>	<b>0.959</b>
Ni <sub>A</sub> – Ni <sub>B</sub>	Ni	<b>0.992</b>	-0.640	<b>0.999</b>	Yb <sub>A</sub> – Yb <sub>B</sub>	<b>0.643</b>	<b>0.689</b>	<b>1.00</b>
Co <sub>A</sub> – Co <sub>B</sub>	Co	<b>0.868</b>	<b>0.510</b>	<b>0.974</b>	Zr <sub>A</sub> – Zr <sub>B</sub>	<b>0.531</b>	<b>0.546</b>	<b>0.643</b>
Cu <sub>A</sub> – Cu <sub>B</sub>	Cu	<b>0.513</b>	<b>0.642</b>	0.296	Nb <sub>A</sub> – Nb <sub>B</sub>	0.282	0.123	<b>0.840</b>
Ag <sub>A</sub> – Ag <sub>B</sub>	Ag	<b>0.435</b>	<b>0.944</b>	0.163	B <sub>A</sub> – B <sub>B</sub>	<b>0.765</b>	<b>0.544</b>	<b>0.851</b>
Zn <sub>A</sub> – Zn <sub>B</sub>	Zn	<b>0.928</b>	<b>0.996</b>	-0.043				

Кроме того, для массива проб, отобранных в пределах зоны влияния ГПК «Апатит», который занимается как добычей, так и обогащением апатит-нефелинового сырья, был проведен факторный анализ (ФА), выполненный методом главных компонент. Этот метод наиболее удобен для «сжатия» информации с целью выявления обобщенных характеристик изучаемого явления. Его основные условия заключаются в том, что главные компоненты независимы, а их число равно числу исходных признаков, но обычно нескольких первых компонент оказывается вполне достаточно для описания всей дисперсии исходных признаков, а значит и для описания в сжатом виде всей исходной информации [9]. Как известно, целью факторного анализа является выявление и интерпретация общих латентных факторов с одновременным стремлением минимизировать их число и степень зависимости от собственных характеристик. основополагающими представлениями авторов при проведении и интерпретации факторного анализа были следующие: суммарное воздействие всех факторов в каждой конкретной точке — величина постоянная и равна 100 %, а также то, что она описывает все суммарное воздействие геохимических процессов, определивших современное состояние компонентов природной среды (почвы, породы, донного осадка и т.д.) в точке опробования.

Факторный анализ был проведен авторами по результатам масс-спектрометрического лабораторного анализа ICP-MS азотно-кислой вытяжки из проб почв.

На рис. 2 приведена карта-схема распределения величин факторных нагрузок ФАКТОРА 5. Вклад этого фактора в суммарную ди-

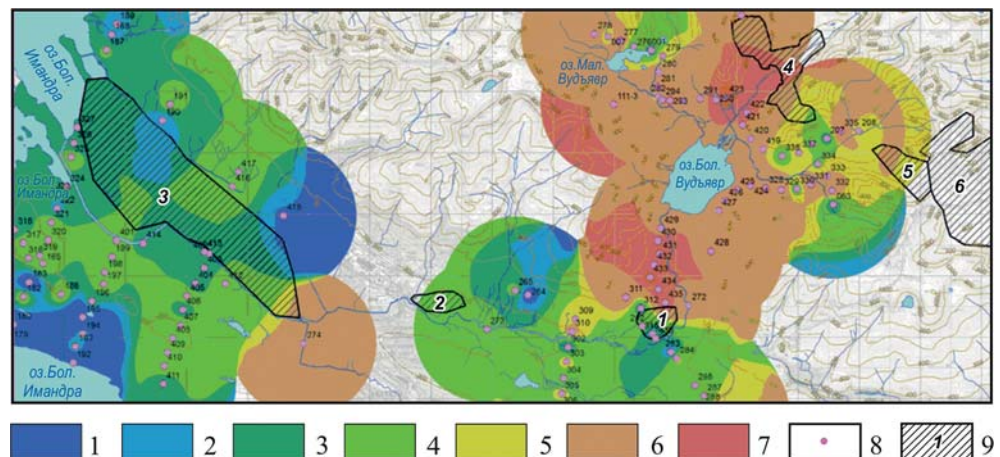
сперсию признаков составляет всего 8 %, но он интересен тем, что управляет двумя биполярными ассоциациями. Одна из них с положительным факторным весом — это ассоциация рудообразующего Р и редкоземельных элементов (Ho, Er, Dy, Tb, Eu, Tm, Sm, Gd, Yb, Y, Ce, Pr, Nd, Lu, La), вторая — с отрицательным — ассоциация, объединяющая элементы, которые накапливаются в почвах в зоне загрязнения и связана, очевидно, с переработкой руды. Последняя включает Mn, Fe, Pb, Zn, As, Cd и некоторые другие

элементы. На рис. 2 видно, что рудная ассоциация остается в пределах рудника, а антагонистичная ей ассоциация проявляется в зоне транспортировки и обогащения руд, т.е. является техногенной [6]. Следует отметить, что при интерпретации результатов ФА важно выявить именно тот фактор, который дифференцирует АГП по их генезису и это зачастую не самый первый (генеральный) фактор. Он, как правило, управляет поведением большинства элементов и не дает представления о различиях их происхождения.

Таким образом, современные технологии обработки геохимических данных, в том числе корреляционный и факторный анализы, являются эффективным инструментом при дифференциации техногенных и рудогенных геохимических аномалий.

На основе вышеизложенного материала следует еще раз подчеркнуть, что среди выделенных критериев дифференциации природных и техногенных АГП, проявленных в почвах с достаточной степенью достоверности, зарекомендовали себя следующие:

директивность конфигурации техногенных АГП в плане относительно источников загрязнения или обо-



**Рис. 2. Распределение факторных нагрузок в пределах ГПК «Апатит»: 1–7 — величина факторных нагрузок: 1 — менее -1,0; 2 — от -1,0 до -0,5; 3 — от -0,5 до -0,2; 4 — от -0,2 до -0,1; 5 — от -0,1 до 0,5; 6 — от 0,5 до 1,0; 7 — от 1,0 до 1,2; 8 — точки опробования; 9 — объекты ГПК «Апатит»**

гашения, т.е. их морфологические особенности. Кроме этого, АГП коррелируют и с мощностью источника загрязнения;

для природных АГП характерно увеличение их интенсивности и размера по мере приближения к коренным породам, а для техногенных — к источнику загрязнения. Генетические различия определяются по соответствию их составов источнику загрязнения или природного обогащения. Последнее определяется формационным рядом месторождения соответствующего промтипа;

для природных (рудогенных) АГП характерна высокая степень корреляции между содержаниями элементов в горизонте «А» и концентрациями этих же элементов в горизонте «В», в то время как для техногенных аномалий характерен низкий уровень корреляции типоморфных элементов местности во всем почвенном профиле в целом;

для техногенных аномалий характерно накопление поллютантов в верхних почвенных горизонтах.

Для дифференциации природных и техногенных АГП, проявленных в донных отложениях, также применим принцип их соответствия источнику загрязнения (обогащения), факт накопления поллютантов в верхнем слое донных осадков, а также меньшая протяженность техногенно-обусловленных АГП по сравнению с природными (рудогенными). Последнее связано, как уже упоминалось, с множественностью источников вещества и их меньшей степенью консолидированности по сравнению с техногенными АГП.

В статье приведены лишь геохимические методы дифференциации техногенных и рудогенных АГП. Для полной достоверности интерпретации подобных аномалий, безусловно, необходимо привлекать и другие виды геологических исследований, в том числе минералогический, рентгено-структурный, фазовый и другие анализы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовина, О.К. Роль геохимического фона при оценке инвестиционной привлекательности рекреационных территорий / О.К. Вдовина, А.А. Лаврусевич, Р.В. Высокинская, И.М. Евграфова, К.С. Полякова // Вестник МГСУ. — 2014. — № 8. — С. 98–106.
2. Вдовина, О.К. Дифференциация природных и техногенных геохимических полей в зоне влияния горнорудных комплексов // Геоэкологические проблемы современности: сб. докладов VII междунар. научн. конф. / О.К. Вдовина, А.А. Лаврусевич, М.К. Грачева. — Владимир, 2015. — С. 128–131.
3. Вдовина, О.К. Трансформация природного геохимического поля в зоне влияния горнорудных комплексов Хибинских тундр / Региональные геохимические работы как основа для оценки рудоносности и нефтегазоносности территории: сб. материалов конференции / О.К. Вдовина, М.К. Грачева, Д.С. Ельчин, С.В. Егоркин, К.В. Полякова. — М.: ИМГРЭ, 2015. — С. 44–45.
4. Григорян, С.В. Рудничная геохимия / С.В. Григорян. — М.: Недра, 1992. — 106 с.
5. Григорян, С.В. Геохимические методы при решении некоторых экологических задач / С.В. Григорян, Ю.Е. Сает // Советская геология. — Москва. — 1980. — № 11. — С. 94–108.
6. Криночкина, О.К. Учет влияния природной геохимической опасности территорий при оценке негативного воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду / О.К. Криночкина, В.Г. Стулов // Международный научно-исследовательский журнал — 2016. — № 7 (49). — Ч. 4. — С. 111–113.
7. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта: Учеб. пособие / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. — М.: Астрель-2000, 1999. — 768 с.

8. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Башаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И. Ачкасова, С.Ш. Саркисян. — М.: Недра, 1990. — 335 с.

9. Смирнов, Б.И. Корреляционные методы при парагенетическом анализе / Б.И. Смирнов. — М.: Недра, 1981. — 176 с.

© Криночкина О.К., Лаврусевич А.А., 2017

Криночкина Ольга Константиновна // vdovinaok@mail.ru  
Лаврусевич Андрей Александрович // lavrusevich@yandex.ru

УДК 552.45

**Кабанова Л.Я., Анфилов В.Н., Игуменцева М.А.**  
**(Институт минералогии УрО РАН)**

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КВАРЦИТОВ ХРЕБТА АЛАБИЯ КАК ВОЗМОЖНОГО ИСТОЧНИКА КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ

*Приведены результаты петрографического изучения кварцитов хребта Алабия (Южный Урал) как возможного нетрадиционного источника сырья, пригодного для наплава особо чистого кварцевого стекла. На изученной площади выделены три типа кварцитов: слюдистые массивные кварциты, слюдистые полосчатые кварциты, монокварциты. В качестве источника кварцевого сырья рекомендуются участки, сложенные монокварцитами. **Ключевые слова:** кварцит, петрография, кварцевое стекло.*

Kabanova L.Ya., Anfilogov V.N., Igumentseva M.A.  
(Institute of mineralogy of the Ural division of RAS)

#### RESULTS OF PETROGRAPHY INVESTIGATION OF QUARTZITES OF RIDGE ALABIYA AS POSSIBLE SOURCE OF QUARTZ RAW MATERIALS

*The results of petrography investigation of quartzite of the ridge Alabiya (South Urals) are represented. This quartzite can be inspected as a raw material for uncombined quartz glass production. There are three petrographic types of quartzite on this ridge: massive mica quartzite, banded mica quartzite and monoquartzite. Monoquartzite is recommended as a raw material for uncombined quartz glass production. **Keywords:** quartzite, petrography, quartz glass.*

В связи с увеличением потребности в высококачественном кварцевом сырье, истощением запасов традиционных кварцевых месторождений возникает проблема изучения нетрадиционных источников кварцевого сырья: кварцитов, кварцевых песчаников, лейкократовых гранитов и др. Особый интерес представляют кварциты как породы, возникшие в процессе метаморфизма и перекристаллизации, в результате которых происходит освобождение кварца от минеральных и структурных примесей. В 2012–2013 гг. нами были детально изучены кварциты месторождения Бурал-Сарьдаг в Восточном Саяне [2, 4]. В составе этих кварцитов были установлены суперкварциты — разности, свободные от минеральных примесей с низкими содержаниями примесных элементов. По своим технологическим характеристикам суперкварциты оказались пригодными для наплава особо чистого кварцевого стекла [3, 6]. В Кемеровской области Л.Г. Ананьева и М.В. Коровкин