5. Спиридонова, И.В. Динамика изменения валовых форм тяжелых металлов в почвах Волгограда / И.В. Спиридонова, А.А. Околелова, Н.Г. Кокорина, А.С. Иванова // Плодородие. – 2010. – № 4. – С. 42–43.
6. Хаустов А.П., Редина М.М. ООС при добыче нефти. – М.: дло, 2006. – 552 с.

СИНЕРГЕТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ЛИТОСФЕРЫ

Малова К.А., Сальников В.Н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: ksenia@docsis.ru

Законы природы приводят к появлению определённого порядка из первоначального хаоса и затем усложнению и развитию образовавшихся упорядоченных структур [1]. Для того чтобы выработать подход, который имел бы возможность приложения к самым различным явлениям в разных научных дисциплинах, был предложен термин синергетика. Термин ввёл Г. Хакен (1980). Происходит слово от греческого «синергена» – содействие, сотрудничество (действующий, работающий). Под синергетикой Г. Хакен предложил понимать область науки, которая занимается изучением эффектов самоорганизации в физических системах, а также в родственных им явлениях в более широком классе систем. Лучшим определением синергетики являются высказывания крупнейших специалистов по нелинейной физике Ю.А. Данилова [2] и Б.Б. Кадомцева [1] – синергетика занимается исследованием процессов самоорганизации (образования, поддержания и распада структур в неравновесных сложных системах). Эти системы имеют вход и выход, то есть обмениваются с окружающей средой потоками энтропии (энергии, вещества, информации). Система может эволюционировать несколькими путями, а изменение параметров системы способно вызвать ветвление пути эволюции – бифуркацию [3].

Сама система является иерархией подсистем, образующих целостность. Протекающие процессы имеют кооперативный (коллективный) характер. К числу сложных систем с подсистемами можно отнести: минерал, горную породу, интрузивные и эффузивные тела, фации и формации в геологии; в биологии – клетка, организм, популяция животных; в ландшафтных зонах – города, страны и др. На рубеже очередного столетия и тысячелетия четко обозначились основные проблемы, с которыми столкнулось человечество, и сценарии дальнейшего развития.

Важное значение для синергетического миропонимания имеет понятие фрактальности (самоподобия). Фракталами обозначают явления масштабной инвариантности, когда последующие формы самоорганизации материальных и социальных систем напоминают по своему строению предыдущие. Такие явления мы довольно часто наблюдаем в природе. Например, изображения множества Мандельброта напоминают структуру некоторых агатов (фото. 1). Наукой давно подмечено, что строение Солнечной системы (как и всех звездных систем) в определенной мере подобно строению атома, но в больших на два десятка порядков пространственно-временных масштабах. Среди обширной литературы по синергетике и проблемам самоорганизации преобладают работы физиков, которые посвящены анализу физической сущности рассматриваемых явлений. Подавляющая часть геологических систем представляет собой системы с химическим взаимодействием, где в ходе физико-химических процессов образуются скопления минералов.

Фото. 1. Агаты, месторождение Адрасман (Таджикистан). Коллекция О.А. Смоленцев. Фото В.Н Сальников

Статистический подход к проблемам самоорганизации позволяет подойти к анализу самоорганизации открытых систем, критериев их относительной степени упорядоченности [4]. Часть работ по синергетике в области общей геологии и рудообразования уже были ранее выполнены российскими и зарубежными специалистами. Результаты исследований представлены на семинарах: «Геологическая синергетика», 1991 г. (Алма-Ата), «Синергетика геологических систем», 1992 г. (Иркутск) и «Самоорганизация природных и социальных систем», 1995 г. (Алма-Ата). В докладах были обсуждены также явления, как периодичность в размещении рудных объектов; ритмическая кристаллизация расслоенных интрузий, даек и кварцевых тел; волновой и ступенчатый характер распределения металлов в рудах – результат синергетического развития природных систем. На основе синергетики появилась возможность предсказания событий природных и техногенных катастроф, раскрытия механизмов метасоматоза и метаморфизма, приводящих к концентрации рудных компонентов, что является одной из актуальных проблем геологоразведки.

Временные упорядоченные структуры. Эффекты самоорганизации, приводящие к образованию структур различной природы, упорядоченных во времени, возникают при протекании некоторых нелинейных химических реакций в литосфере при метасоматозе, метаморфизме и гидротермальном процессе, где скорость образования продуктов реакции нелинейным образом зависит от концентраций реагирующих компонентов. В геологии это образование скоплений рудных компонентов, процессы выщелачивания и заполнения пустот, образование сталактитов, сталагмитов. В следствие метаморфизма упорядоченные временные структуры возникают под воздействием давления, температуры и привноса-выноса компонентов.

В синергетике введено понятие – диссипативные структуры. Это структуры, образующиеся в

результате рассеяния (диссипации) энергии. Структуры распадаются, как только прекращается поток энергии или вещества. Некоторые из таких структур являются по своей природе биологическими, другие физическими или геологическими (вулканы, гейзеры, тайфуны, смерчи, ураганы). Все они возникают из хаоса – «праха» и вновь обращаются в «прах». Возникновение и исчезновение диссипативных структур можно рассматривать как природные и техногенные автоколебательные системы разрывного типа.

Под автоколебательной системой обычно понимают систему, в которой происходит преобразование энергии постоянного (неколеблющегося) источника в энергию колебаний.

Автоколебательная система – это автономная консервативная система, в которой возникают незатухающие, ограниченные по амплитуде, колебания. Автоколебательная система нелинейна. Системы разделяются на два типа:

1) томсоновские (осциляторного типа);

2) релаксационные автоколебания (накопительного типа).

В первом случае колебания в системе близки к гармоничным, во втором – колебания называют разрывным (рис. 1).

Рис. 1. Схема автоколебательной системы разрывного типа (АСРТ). Схема В.И. Чупрынина [5] с дополнениями авторов

Разрывные автоколебания с частичным сбросом энергии, в виде электромагнитной и акустической эмиссии, изменяют фон естественного импульсного электромагнитного поля Земли.

Эксперименты по моделированию генерации электромагнитного излучения при возбуждении минералов и горных пород показывают, что геолого-геофизическая подсистема получает энергию за счёт фазовых переходов первого и второго рода вещества литосферы, мантии и ядра, а также атмосферы [6]. Возросла роль техногенной накачки (ядерные взрывы, заземление всех типов электростанций и промышленных коммуникаций). Перераспределение энергии происходит на геологических структурах, возникает неустойчивое состояние геофизических полей и сброс энергии по волноводам в атмосферу, космос, обратно в техногенные сооружения в виде сейсмических колебаний (землетрясения), теплового излучения (извержения вулканов), электромагнитного излучения в виде мощных пучков, вихревых и тороидальных структур. Такая природная подсистема тесно взаимодействует со всеми остальными подсистемами (техносферой и биосферой). Взаимодействия различных оболочек Земли можно отнести к автоколебательным системам разрывного типа. Например, Тунгусский феномен – 30 июля 1908 года.

Релаксация объемного заряда в литосфере и самоорганизация пространственных структур электромагнитного поля. Упорядоченные структуры образуются и при замыкании электромагнитных полей и создании долгоживущих плазменных образований в литосфере и атмосфере (электромагнитных систем), которые при выходе на поверхность образуют ямы (рис. 2, фото 2). Под электромагнитными системами понимают все объекты вещественной и полевой структуры в виде плазмоидов различной формы, наблюдающихся в атмосфере, литосфере, космосе, излучающие электромагнитные импульсы в широком диапазоне от гамма-излучения до радиодиапазона, света и тепла. Исследования показали, что накопление энергии в литосфере происходило за счет подготовки очага землетрясения, вследствие природно-техногенных процессов.

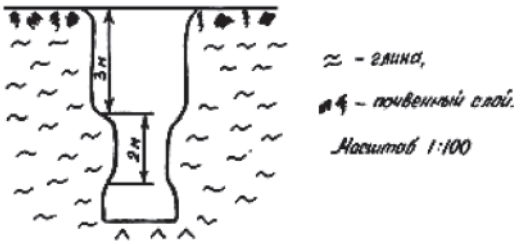

Рис. 2. Разрез ямы в Крапивинском районе Кемеровской области, совхоз Бановский. Яма появилась в конце апреля 1990 года

Фото. 2. Яма в Крапивинском районе Кемеровской области. Слева направо: рабочий Михайловского отделения В.Р. Аменев, член Кемеровского отделения ТГИАЯ Г.Н. Осташов, сотрудник лаборатории ПТЭС ТПИ Г.Г. Токаренко (Фото В.Н. Сальникова)

В земной атмосфере при некоторых условиях возможно накопление электрических зарядов в облаках и образование грозового фронта. Когда напряженность электрического поля в грозовой туче достигнет значения, равного электрической прочности среды, то происходит разряд в виде линейной молнии. Накопившийся в туче заряд, стекает по каналу молнии и при определенных параметрах вихревого движения ионизированной плазмы силовые линии электрического и магнитного поля замыкаются, образуя тор (фото 3,4).

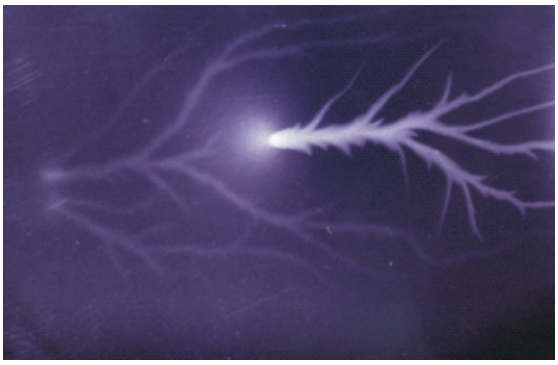

Фото 3. Образование тороидальной системы электромагнитного поля. Сначала (слева) возникли два небольших светящихся шара, затем они в поле разряда образовали третий, более крупный, светящийся объект, который релаксирует при помощи мощного разряда. Район г. Вильнюса. Утро, туман. Фото В.Н. Сальникова, август, 1988 г.

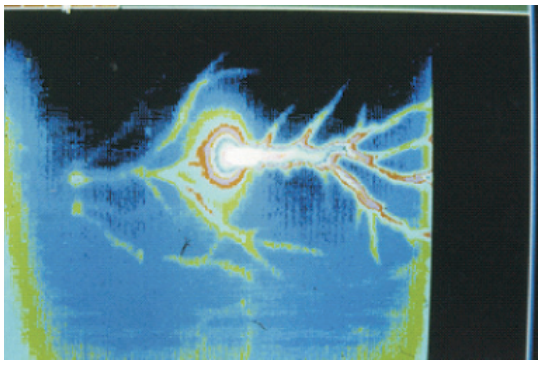

Фото. 4. Цветокодирование снимка, изображенного на фото 10, методом эквиденсит. Проявляется тороидальная структура шаровой молнии. Обработка на ЭВМ произведена В.К. Журавлевым

В земных недрах возможно аналогичное явление – накопление объемного заряда в диэлектрических породах, при котором величина напряженности электрического поля достигнет значения электрической прочности диэлектрика (горной породы). Произойдет электрический разряд (пробой), аналогичный разряду молнии в атмосфере, и накопившийся объемный заряд потечет по каналу разряда из литосферы в атмосферу [7]. Так как электрическая прочность твердых диэлектриков в недрах Земли может быть на три-четыре порядка выше, чем электрическая прочность воздуха, то, естественно, и заряд, накопленный в недрах Земли, может быть на несколько порядков выше, чем заряд в атмосфере.

Концентрация зарядов в горных породах также будет превосходить концентрацию зарядов в атмосфере. Количество энергии, высвободившееся при разряде в недрах Земли, достигает 10^9 Дж, что соответствует энергии, регистрируемой при слабом землетрясении.

Появление пространственных упорядоченных структур (электромагнитные системы) в неравновесных системах (канал электрического пробоя) связанно с фазовым переходом 1-го рода (проплавление горных пород) и 2-го рода, полиморфным переходом минералов (кварца, арагонита, серы и др.), которые дополнительно генерируют электромагнитную энергию в широком диапазоне частот, способствуя самоорганизации долгоживущих плазменных образований [8, 9].

Синергетика новых катастрофических явлений природы. Импульсное электромагнитное излучение может быть вынесено из глубинного очага при наличии следующих свойств объекта:

а) огромная мощность генерации импульсных электромагнитных полей в очаге подготовке землетрясения,

б) наличие в геологических структурах волноводов, по которым электромагнитная энергия может достигать поверхности Земли

в) предполагается, что от очага, например, землетрясения, во время его «пульсации» распространяется волна возбужденного состояния массива, вызывающая в момент прохождения фронта в данной точке массива электромагнитное излучение в результате локальных нарушений и уплотнений породы.

Рассчитанная скорость фронта такой релаксационной волны возбужденного состояния составляет $2{,}1\cdot10^{-4}$ – $3{,}6\cdot10^{-4}$ км/с.

Среди геологов до сих пор нет единодушия в вопросе происхождения взрывных (эксплозивных, криптовулканических) структур [10]. Существуют две концепции:

1) результат падения на Землю крупных метеоритов;

2) результат эндогенных процессов при дегазации планеты.

Наиболее убедительным доводом в пользу космогенной природы рассматриваемых образований, является обнаруженное в них обломочное и распыленное метеоритное вещество с иридием и другими характерными космогенными элементами.

Предположение о том, что метеоритное вещество приземлилось с «точным прицельным попаданием» в зону разлома, представляется маловероятным [11]. Поскольку трубки взрыва, несомненно, имеют эндогенную природу, то, следовательно, такую же природу должны иметь и связанные с ними взрывные структуры. Слабым местом в концепции эндогенного происхождения взрывных структур является предлагаемый «газовый» (химический) механизм взрывного процесса. Сторонники этой концепции вынуждены допускать образование в земных недрах резервуаров газа гигантских размеров – объем 2000-2500 км^2. Сторонники эндогенной концепции не используют в своих моделях другие механизмы взрывного процесса, в частности – электроразрядный. Следствием разрядов в литосфере являются два геологических процесса – землетрясения и образование кольцевых взрывных структур на поверхности небесного тела.

В Земле имеют место мощные электрические разряды, энергия которых, сконцентрированная на небольшом участке, достаточна для образования не только трубок взрыва, но и структур центрального типа. К.К. Хазанович-Вульф считает, что в результате взаимодействия электрических полей между телом пролетающего болида и поверхностью Земли могут иметь место электрические разряды. Крупные тектонические контакты являются генераторами высоких электрических полей. При площади свежей поверхности разлома 60 км^2 образовавшийся заряд соизмерим с электрическим зарядом Земли – $5{,}7\cdot10^5$ Кл. В результате взаимодействия этих токов с токами, наведенными на поверхности Земли метеоритным телом, может быть мощный электрический разряд, который и приведет к образованию структуры на пересечении проекции траектории болида и зоны разлома. По мнению С.Ю. Баласаняна [12], роль «спускового ме-

ханизма» электрического пробоя земной коры может сыграть резкое повышение отрицательного заряда на поверхности Земли под действием атмосферного электричества.

В основе концепции К.К. Хазановича-Вульфа лежит допущение, что силовые электрические поля, сопровождающие полет крупных болидов в атмосфере Земли, как раз выполняют роль «спускового механизма» (триггера), для проявления электроразрядных пробоев земной коры [11].

А.Ю. Ольховатов [13] считает, что пролет болида приводит к активизации тектонических процессов, одним из проявлений которых могут быть различные звуковые ощущения, возрастает метеорологическое и сейсмическая активность. Установлено существование статистической связи между максимумами метеорных потоков и такими явлениями как суточное количество землетрясений в мире, начала извержений вулканов мира, максимумами различных метеорологических явлений (осадки, град и т.д.).

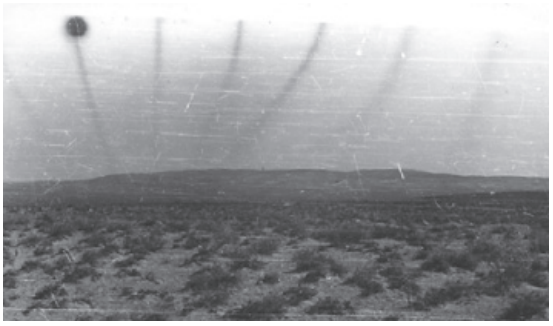

Фото. 5. Тёмные столбы и тёмный объект в районе г. Зарафшан, вблизи золоторудного месторождения Мурунтау. Явление предшествовало ливневым дождям в пустыне (к ночи погода сменилась и начался дождь). Фото. В.Н. Сальникова

В.Н. Сальников [6], на основании изучения геоактивных зон, где, в основном, происходят выбросы литосферной энергии или её поглощение из атмосферы и космоса, пришел к выводу, эта полевая электромагнитная система может образовываться в литосфере при фазовых переходах в минералах, генерирующих электромагнитное излучение. Принимая квазикристаллическую структуру в эллиптическом пространстве Римана, такая система,предположительно, обладает сверхпроводимостью и может выноситься в атмосферу, компенсируя узлы квазикристалла амерами, атомами, молекулами, частицами горных пород, почвой, стремясь перейти из полевой дискретной, замкнутой структуры к вещественной (фото 5, 6). Такие модели были разработаны В.И. Федощенко [8]. Построены модели образования таких электромагнитных систем с поглощением части солнечного спектра электромагнитных колебаний и описаны механизмы устойчивости черных и светящихся образований в атмосфере.

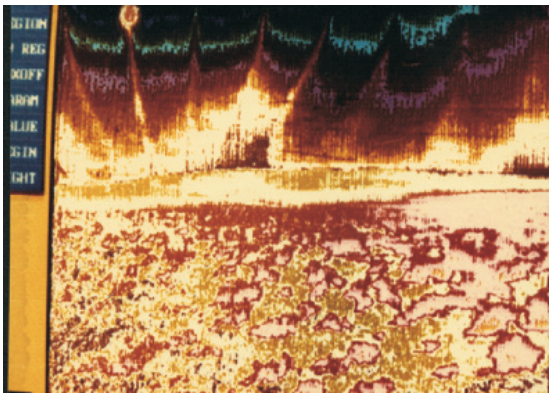

Фото. 6. Цветокодированный снимок чёрного объекта над пустыней Кызыл-Кум (цветокодирование снимка произведено В.К. Журавлёвым

Аналогично приведенному материалу, можно предполагать, что одной из причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС является выход из литосферы электромагнитной системы по техногенным волноводам и разрушения энергоблоков.

Саяно-Шушенская ГЭС построена в районе геоактивной зоны с повышенной сейсмичностью, наличием геологических разломов и, соответственно, электромагнитными волноводами. Ещё в 1972 году при проведении экспедиционных работ по теме «Подземная гроза» на территории строящейся Саяно-Шушенской ГЭС профессор А.А. Воробьёв предлагал встроить в платину антенну для измерений естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) с целью прогнозирования геодинамических явлений (фото 7). Но предложения по прогнозу методом ЕИЭМПЗ не было реализовано, из-за непонимания важности таких исследований. Хотя метод ЕИЭМПЗ в последнее время получил широкое распространение, как наиболее перспективный при прогнозах землетрясений, горных ударов в шахтах, оползневых процессах, он не нашёл широкого применения в мониторинге геодинамических явлений в районах построенных гидроэлектростанций и при выборе мест их проектирования [14, 15, 16].

Фото. 7. Район строящейся Саяно-Шушенской ГЭС. Обед в геолого-физическом отряде. Впереди стола сидит проф. А.А. Воробьев, разливает чай С.А. Воробьев, 1972 г.

Основываясь на электроразрядной гипотезе образования диатрем в литосфере, можно полагать (согласно представлениям о «Подземной грозе» А.А. Воробьёва и последним работам К.К. Хазановича-Вульфа), что башни в Нью-Йорке оплавились и осели в результате электроразряда между железным каркасом этих башен и самолётом (искусственным балидом).

Список литературы

1. Кадомцев Б.Б., Рязанов А.И., Что такое синергетика? // Природа. – 1983. – № 8. – С. 2-11.
2. Данилов Ю.А. Роль и место синергетики в современной науке// Онтология и эпистемология синергетики. – М.: ИФ РАН, 1997. – С. 7-17.
3. Половцева Г.Ф., Пойзнер Б.И. Синергетика и сопредельные науки/ Краткий библиографический указатель. – Томск: Изд-во ТПУ, 1993. – 54 с.
4. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. – Н.: Наука, 1992. – 230 с.
5. Чупрынин В.И. Геофизические автоколебательные системы разрывного типа / Владивостокский гос. университет. – Владивосток, 1984. – 34 с. – Деп. в ВИНИТИ 7.08.84, Н709-85.
6. Сальников В.Н. Природно-техногенные зоны электромагнитной разгрузки / Труды Межд. нучно-техн. шк.-семинара: Концептуальные подходы и гипотезы. – Томск. ТПИ, 1991. – С. 137-179. – Доп. в ВИНИТИ 10.12.90, № 776-В91.
7. Воробьев А.А. Равновесие и преобразования видов энергии в недрах. – Томск: Изд-во Томского университета, 1980. – 212 с.
8. Сальников В.Н., Арефьев К.П., Завёрткин С.Д и др. Самоорганизация физико-химических процессов в диэлектрических природно-техногенных средах. – Томск: STT,2006.-524 С.
9. Дмитриев А.Н. Природные самосветящиеся образования. – Н.:, 1998. – 242 с.
10. Хрянина Л.П. Метеоритные кратеры на Земле. – М.: Недра, 1987.
11. Хазанович-Вульф К.К. Диатреморвые шлейфы астроблем или «Болидная модель образования кимберлитовых трубок». – Петрозаводск: Изд-во ГЕОМАСТЕР, 2007. – 272 с.
12. Баласанян С.Ю. Динамическая геоэлектрика. – Н.: Наука, 1990. – 232 с.
13. Ольховатов А.Ю. Об электрофонных явлениях // Физика Земли, 1993. – № 12. – С. 17-21.
Потылицына Е.С. Электромагнитный мониторинг геодинамики Алтая-Саянской складчатой области / Сб. трудов Межд. науч. конф. посвящённой 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьёва. – Томск:ТПУ,2009. – С. 347-351.
14. Завёрткин С.Д., Сальников В.Н., Арефьев К.П. Электромагнитная эмиссия при фазовых переходах в минералах и диэлектрических материалах. – Томск: ТПУ, 2010. – 403 с.
15. Саломатин В.Н. Многолетний опыт применения ЕИЭМПЗ при решении комплекса задач в Украине / Сб. трудов Межд. науч. конф. посвящённой 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьёва. – Томск: ТПУ, 2009. – С. 384-391.

ОБНАРУЖЕНИЕ YB^{3+} В ШЛАКОВЫХ СТЁКЛАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ УРАЛА МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

[1]Потапов Д.С., [2]Мороз Т.Н., [1]Потапов С.С.

[1]Институт минералогии УрО РАН, Миасс;
[2]Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск,
e-mail: spot@ilmeny.ac.ru

В последние годы люминесценция редкоземельных элементов (РЗЭ) широко используется при создании лазерных материалов [14]. Так, ионы иттербия применяются для генерации лазерного излучения в ближнем инфракрасном диапазоне с длиной волны излучения 1,06-1,07 мкм. Поэтому практически значимым может явиться установленное нами на основании спектроскопических исследований наличие Yb^{3+} в шлаковых стеклах ряда металлургических заводов Урала.

Иттербий, Yb, как и многие редкие элементы, по среднему содержанию в Земной коре находится в количествах, превышающих кларки таких обычных в повседневной жизни металлов, как ртуть, золото, серебро [8, 9]. Поэтому это, по В.И. Смирнову [7], не редкий элемент. Он был открыт в 1878 г. швейцарским химиком Мариньяком как примесь к элементу эрбию. Однако иттербий оказался смесью двух лантаноидов, которые в 1907 г. были разделены химиками Урбеном и независимо от него Ауэром. Вместе с другими РЗЭ Yb содержится в минералах бастнезите, монаците, фергусоните, ксенотиме и др. [9]. Люминесценция РЗЭ широко используется при создании лазерных материалов. Одним из таких элементов является неодим, Nd, допирование которым алюмо-иттриевого граната привело к созданию целого ряда твердотельных лазеров с излучением в области 1064 и 532 нм. Излучение в ближней ИК области спектра (1064 нм) стало решающим в применении Nd:YAG лазеров в КР спектроскопии, так как при изучении многих материалов, особенно биогенной природы, позволило значительно снизить фоновый сигнал от люминесценции, возникающей при использовании лазеров в видимом диапазоне [1-2, 6, 15-16, 18]. Однако это удается сделать не во всех случаях. Значительная люминесценция присутствует в ряде спектров комбинационного рассеяния света (КР), измеренных с линией 1064 нм Nd:YAG лазера, которая может быть обусловлена органической компонентой и элементами-примесями патогенного образования [6, 10], РЗЭ [3-4], в том числе элементом эрбием в природных гранатах [17]. Исследование стекол Саткинского металлургического завода (СМЗ), отобранных нами в 2004 г., показало, что в КР спектрах ряда образцов проявились интенсивные полосы в анти-Стоксовой области спектра, которые не могли быть объяснены колебательными характеристиками [3-4]. В данной работе методом колебательной КР спектроскопии были исследованы стекловатые шлаки Саткинского металлургического завода (СМЗ) и Челябинского электрометаллургического комбината (ЧЭМК), характеристики которых мы приводим ниже.

Образцы СМЗ (САТ-04-04, САТ-09-04 и САТ-22-04) являются побочными продуктами производства ферромарганца. Главными оксидами этих шлаков являются SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3 (табл. 1).

Образец **САТ-04-04** черный, массивный стеклоподобный шлак. С поверхности пористый. Нередко в шлаке наблюдаются бурые вкрапленники окисленного железа. Данный шлак состоит из стекла – 30%, из кристаллических выделений мелилита – 60% и монтичеллита – 10%. При наблюдении в шлифах мелилит занимает основную массу шлака и представлен крупными скелетными кристаллами. В некоторых зернах отчетливо проявлена спайность. Монтичеллит расположен в промежутках между крупными скелетными кристаллами мелилита в стекловатой матрице. Представлен тоненькими (толщиной 0,02 мм) бесцветными иголочками.

Образец **САТ-09-04** массивный плотный кусок шлака зеленого цвета. С поверхности и внутри шлак интенсивно пористый; редко в нем встречаются металловидные сферулы. Шлаковый расплав полностью раскристаллизован и состоит из минералов: мелилита – 35%, ромбического пироксена – 25%, моноклинного пироксена – 25%, форстерита – 10% и рудного минерала – 5%. В шлифах мелилит представлен ксеноморфными бесцветными зернами. Ромбический пироксен выглядит в виде вытянутых игольчатых зерен. В некоторых из них отчетливо проявлена спайность в двух направлениях под углом 84°. Во многих зернах отчетливо проявлены полисинтетические двойники. Моноклинный пироксен в шлифе представлен идиоморфными зернами размером от 0,2 до 0,4 мм. В скрещенных николях он отличается от ромбического пироксена и форстерита тем, что имеет косое погасание под углом 50°. Форстерит бесцветен, имеет форму идиоморфных и гипидиоморфных кристаллов. В скрещенных николях имеет высокие цвета интерференции и прямое погасание. Рудный минерал имеет черный цвет; в скрещенных николях изотропен.

Образец **САТ-22-04** представляет собой **с**теклоподобный массивный шлак серого цвета с включениями белых сферолитовых агрегатов в виде как отдельных крупных выделений, так и мелких их скоплений. Местами шлак пористый, на поверхности наблюдается лимонитизация.