



В. В. КНАУФ О. В. КНАУФ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ОБЪЕКТОВ И РУДНЫЙ АУДИТ

Санкт-Петербург | 2021

В. В. КНАУФ О. В. КНАУФ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ОБЪЕКТОВ И РУДНЫЙ АУДИТ

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2021

УДК 622.142
ББК И11
К53

Кнауф В. В., Кнауф О. В.

К53 Информационные реплики объектов и рудный аудит. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 177 с.

ISBN 978-5-7629-2956-1

Предложен новый подход к описанию природных объектов различного типа, генезиса и масштаба. Приведены концептуальные основы и теоретическое обоснование технологий получения аутентичных информационных реплик природных объектов с заданным коэффициентом соответствия реплики природному оригиналу. Представлены примеры практического применения технологий с акцентом на геологические объекты на стадиях поиска руд, оценки ресурсов и запасов и в ходе эксплуатации месторождений. Информационные реплики служат фактологической основой для выполнения процедур рудного аудита, т. е. создания регламента по приведению в соответствие реальных свойств и параметров объекта аудита с теми ожидаемыми свойствами и параметрами объекта, для которых возможна и рекомендуется утилитарная практическая реализация. Регламент рудного аудита – это путь достижения желаемого из того, что существует в действительности.

УДК 622.142
ББК И11

Рецензенты: д-р хим. наук, проф. Н. А. Чарыков (СПбГТИ (ТУ)); д-р геол.-минерал. наук Б. А. Блюман (ВСЕГЕИ); кафедра взрывного дела Санкт-Петербургского горного университета.

*Монография подготовлена при финансовой поддержке
NATI Research OY*

ISBN 978-5-7629-2956-1

© Кнауф В. В., Кнауф О. В., 2021
© Оформление. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ВВЕДЕНИЕ: ВХОДНОЙ БИЛЕТ В СИСТЕМУ РУДНОГО АУДИТА	7
2. ИДЕОЛОГИЯ РУДНОГО АУДИТА.....	12
2.1. Концептуальные основы рудного аудита.....	12
2.2. Специфика измерений.....	14
2.3. Выбор измерительной модели	19
2.3.1. Анализ куч	21
2.4. Параметры измерительных моделей в рудном аудите	29
2.4.1. Выбор граничных значений параметров рабочей области	29
2.4.2. Параметры концентрационного уровня.....	32
2.4.3. Параметры фазового уровня	38
2.5. Конструирование технологий отображения	39
2.6. Типовые оценочные параметры рабочей области.....	43
3. РУДНЫЙ АУДИТ: ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПАНТЕИЗМА.....	48
3.1. Соотношение геохимии и химии	48
3.2. От пантеизма к рудному аудиту.....	53
3.3. Фазовые формы веществ в рыхлых осадках	61
3.4. Литификация осадков: терригенные и аутигенные фазы.....	65
4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ.....	86
4.1. Информационные реплики элементного уровня.....	88
4.1.1. Реплики остаточных ореолов элементного уровня	88
4.1.2. Реплики наложенных ореолов элементного уровня.....	89
4.2. Комбинированные реплики элементного уровня.....	95
4.2.1. CROCS-технология на площади Савукоски.....	96
4.2.2. CROCS-технология: основные блоки	98
4.2.3. CROCS-технология: сеть опробования.....	99
4.2.4. CROCS-технология: глубина опробования	102
4.2.5. CROCS-технология: расчетные параметры рабочей области	105
4.2.6. Чувствительность работ	105

4.2.7. Аналитический гранулометрический класс	108
4.2.8. Масса представительных проб	113
4.2.9. CROCS-технология: реплики никеля, платины, золота.....	115
4.2.10. CROCS-технология: выводы и сравнительные оценки ...	119
4.2.11. Металлогения	120
4.2.12. Стоимостные оценки	121
4.3. Информационные реплики фазового уровня.....	122
4.3.1. Реплики ореолов рассеяния минералов-спутников алмазов.....	122
4.3.2. Реплики техногенных ореолов металлургических производств	136
5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ.....	142
5.1. Реплики на этапах геолого-технологического картирования	143
6. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	162
6.1. Реплики археологических артефактов.....	162
6.2. Реплики объектов физико-химических экспериментов	170

ПРЕДИСЛОВИЕ

Технологии рудного (объектного) аудита – это технологии получения аутентичных информационных реплик природных объектов. Технологии междисциплинарны и не имеют принципиальных различий в применении к конкретным областям научных или производственных практик подобно правилам арифметики, используемым во всех естественных науках и промышленных производствах. При знакомстве с основами технологий объектного аудита такая общность делает изложение предмета слишком абстрактным, что порождает необходимость рассматривать принципиальные положения технологий на конкретных примерах в достаточно обширной, но относительно узкой области применения: в областях научной и прикладной геологии и горнорудного дела. Эта специфика отражена в названии "рудный аудит".

В практике выявления и эксплуатации рудных объектов накопилась критическая масса неверных оценок и их последствий, которая формирует запрос на создание нового теоретического базиса и практических технологий на этапах геологического изучения и поисков рудных объектов, подсчета рудных ресурсов и запасов, а также на этапах обоснования технологических типов руд и их объемного картирования на месторождениях в целях разработки и эффективного использования промышленных технологий обогащения или в целях их оптимизации для контроля параметров, обеспечивающих максимальные значения коэффициента извлечения рудных компонентов.

Рудный аудит – это система представлений, построенная на новом теоретическом базисе и разработанных на его основе технологиях отображения природных объектов в их информационные реплики, которая если и не полностью позволяет избавиться от устаревших и малоэффективных подходов, то в подавляющем большинстве случаев продуцирует результаты более высокого уровня качества и практического значения.

Опыт преподавания в университетских аудиториях показывает, что, с одной стороны, современные молодые творцы будущего плохо воспринимают научную информацию, изложенную в академическом стиле. Чаще всего перед экзаменами они заучивают тексты лекций и методичек подобно ученикам духовных семинарий, не воспринимая суть и взаимосвязь явлений Природы, изучение которых составляет сущность

высшего образования. Воспроизводство *homo habilis* вместо *homo sapiens* (дань времени и системе ЕГ) надежно обеспечивает поставку кассиров и охранников в торговые центры после окончания университетов. С другой стороны, укоренившаяся в научном сообществе практика "целостного" описания и анализа природных явлений путем расстановки бесчисленных ссылок на работы коллег фрагментирует текст собственной публикации (до полной неузнаваемости объекта) и не позволяет сочетать базисные идеи и частные детали в единый научный продукт со сбалансированными причинно-следственными связями. Поэтому предлагаемая публикация изложена "простым языком" с использованием "простых наглядных примеров". Однако это не означает, что высказанное в бытовом обиходе утверждение, что Земля вращается вокруг Солнца, перестало соответствовать современным научным представлениям.

Публикация адресована тем, кто умеет или хочет научиться слушать Природу и самостоятельно думать, студентам технических специализаций, а также специалистам в области поисковой геологии и обогащения руд.

1. ВВЕДЕНИЕ: ВХОДНОЙ БИЛЕТ В СИСТЕМУ РУДНОГО АУДИТА

Если некоторым чудесным образом химик, обладающий современным уровнем знаний, оказался бы в средневековой лаборатории алхимика, жаждущего получить золото из свинца, то между ними мог бы состояться эмоциональный, но абсолютно бессмысленный диалог. Алхимик мог бы утверждать, что получал золото из свинца много раз, но сегодня сделать это не может, поскольку закончился коготь дракона и израсходованы локоны девственницы. Завтра подвезут эти прекурсоры, золото будет получено и представлено посрамленным скептикам. Самое примечательное в данной ситуации – это полная бессмысленность попыток химика объяснить, почему алхимик не может выполнить своего обещания: алхимик не владеет базовыми знаниями, ему не известны законы сохранения, он не понимает современной логики достижения целей, не знает и не использует ни семантики, ни синтаксиса, ни терминологии, требующихся для получения научных и практических результатов. Непонимание фатальное: "старое" не может понять "новое", у "нового" нет средств для объяснения сути "старому", субъекты существуют в разных эпохах – "до" и "после" открытия законов сохранения. Невозможно одномоментно передать весь комплекс знаний, полученных за несколько столетий.

Аналогия "химик" – "алхимик" просматривается в эпохах "до" и "после" появления технологий рудного аудита. Теоретические основы и методики традиционных геохимических работ в геологии при поиске и локализации рудных объектов или традиционные геохимические работы, выполняемые в ходе подсчета запасов на выявленных месторождениях и использующиеся при разработке схем обогащения, не содержат необходимого теоретического и технологического обоснования для получения корректных результатов в отличие от технологий рудного аудита. Традиционным подходам не известна корректная логика достижения практических целей, они не используют ни синтаксиса, ни семантики, ни терминологии, требующихся для получения научных и практических результатов современного уровня. В старой парадигме невозможно излагать новое, поэтому далее в тексте будут использоваться понятия и термины рудного аудита, которые отсутствуют в традиционных геохимических подходах, и к новым понятиям и терминологии полезно начинать привыкать как можно раньше.

Попутная ремарка своевременна и важна с позиций понимания "старого" и "нового", которые контекстно присутствуют в дальнейшем изложении. Будущее как пространство возможных реализаций и прошлое как состоявшаяся реализация произведенного ранее выбора планируемого результата не имеют разделительной границы. Поэтому понятие "сейчас" – это категория ментальная, не имеющая материальных признаков: время течет непрерывно, и "сейчас" как и математическая точка на шкале времени – это абстракция, не имеющая материальных аналогий и вещественного наполнения. "Сейчас" – это реализация будущего, созданного в "прошлом". Правильно, что история (прошрое) не имеет сослагательного наклонения, а вот "будущее" очень даже имеет: выбор конкретного пути и вида реализации (одного из многих), касающийся деятельности индивидуума или сообщества индивидуумов, подразумевает существование многих вариантов цепочек из причин и следствий. Любые традиции и формы инструктивных документов или указаний – это "прошрое": узаконенный и реализованный предшествующий опыт. Инструктивные предписания не создают новых реализаций в том будущем, которое только по прошествии времени превратится в "сейчас". Далее в тексте речь о прошлом или о толкованиях прошлого идти не будет. История – историкам. Речь пойдет только о "будущем": о правилах и технологиях выбора вариантов реализации возможных событий, т. е. будем создавать будущую реальность своими руками и головами, используя технологии рудного аудита. Тем, кто не любит этот вид деятельности и предпочитает работу в рамках "старого доброго прошлого" (т. е. устоявшихся подходов и инструкций), не нужен входной билет в систему рудного аудита и нет необходимости читать текст далее.

Подходы и технологии рудного аудита концептуально новы, ясно отличаются от традиционных, но уже устаревших и малоэффективных концепций, до сих пор используемых всеми государственными и негосударственными службами и организациями. Отличия новых подходов такие же, как отличия между пейзажем на картине художника и топографической картой этой местности: в отличие от картины художника (произведения искусства) рудный аудит продуцирует не авторизованные впечатления, художественные образы, эмоции и технику рисования, а объективные аутентичные информационные реплики (копии) природных объектов для практического использования.

Параметры, которые используются для создания реплики, могут быть разными и определяются решаемой задачей, поэтому реплик может быть несколько и каждая из них будет отражать тот или иной набор свойств природного оригинала с заданным уровнем *коэффициента соответствия* (КС) реплики природному оригиналу. Прекрасно иллюстрируют эту мысль два портрета П. Пикассо на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Объект П. Пикассо: *а* – фото, информационная реплика, КС = ~70 %; *б* – автопортрет, художественный образ, КС = ??

В геологии и горнорудном производстве аудит как вид деятельности по анализу информации и установлению соответствия между природным объектом и его отображением в отчетных документах подразумевает наличие самого объекта отображения и информационной реплики объекта. Здесь и далее мера соответствия или качество информационной реплики оценивается по значению коэффициента соответствия, который равен доле корректной информации в реплике, отнесенной к общему объему транслируемой информации из природного оригинала. Механизмы рудного аудита реализуются путем использования соответствующих технологий на надежной метрологической основе. Область применения рудного аудита, находящаяся в поле зрения этой публикации, – это только этапы создания и эксплуатации рудных объектов, однако принципы измерений и производства информационных реплик как естественных, так и искусственных объектов являются общими в теоретических и прикладных разделах естественных наук.

В данной логике "аудит" и "измерение" оказываются очень близкими понятиями, хотя контекст традиционного использования каждого термина обычно не вызывает даже реминисцентных аналогий. Однако эти понятия почти тождественны, поскольку и "аудит", и "измерение" имеют свои собственные независимые, но подобные составные части: теоретический базис, правила получения результатов и способы оценки корректности результатов. В зависимости от области применения аудита как аналога корректных измерений в области геологии и горном деле имеет смысл выделять "рудный аудит", но в составе более обширной области применения, для которой оправдан термин "объектный аудит".

Рудный аудит в области геологии и обогащения руд можно и должно применять на всех этапах становления и эксплуатации рудных объектов: от сопутствующих поисков при геологической съемке с оценкой ресурсов и запасов руд до разработки технологий обогащения, контроля питания, промпродуктов, концентратов и хвостов обогащения, заканчивая работами по рекультивации площадей горных отводов. Установление соответствия между природным оригиналом и его информационной репликой на каждом из перечисленных этапов использует различные типы объектов и их свойств, но во всех вариантах и случаях соответствие обеспечивается по единым правилам измерения информации на ясно сформулированной метрологической основе.

В приведенном контексте неявно постулируется, что рудный аудит имеет две функциональные ипостаси: первую – функцию объективного контроля для оценки корректности уже имеющихся ранее полученных данных и вторую – функцию планирования и получения новых аутентичных информационных реплик с заданным коэффициентом соответствия. В практике эти две разновидности рудного аудита получили название "постпроектного" и "предпроектного" аудита.

Оба функциональных направления на каждом из этапов создания или эксплуатации любого рудного объекта подразделяются на функциональные элементы более низкого уровня соответственно этапу освоения объекта, однако общие правила получения и оценки качества реплик остаются неизменными. Так, в варианте "поиски нового рудного объекта" рудный аудит выступает в качестве печи, в которую загружены и переплавлены все традиционные понятия и атрибуты "поисков и разведки месторождений полезных ископаемых". В результате "плавления" металл отделяется от шлака: на заданной территории "поиски" и "разведка" не проводятся (удаляется шлак), а рудные объекты выявляются и оцениваются путем создания последовательного ряда информационных реплик с заранее оговоренным КС реплики природному оригиналу и затем с полученных реплик "считывается" рудная информация поискового и эксплуатационного уровней.

Здесь важно акцентированно указать, что рудная информация поискового уровня, отображенная в конкретной информационной реплике, корректно отображает все элементы природного оригинала, которые попали в поле зрения инструмента отображения, аналогично тому, как на фотографии отображаются все объекты, попавшие в поле зрения фотоаппарата.

Это означает, что сама постановка задачи по геохимическим поискам отдельных элементов (золото, хром, никель, ...) не имеет смысла: речь должна идти не о поисках, а о создании корректных информационных реплик и выборе технологий и инструментов отображения, поскольку в результирующей информационной реплике, как на фотографии, будут отображены все элементы, присутствующие в природном объекте.

Получение информационных реплик достигается применением соответствующих технологий отображения, как это происходит, например, при создании топографических карт (информационных реплик рельефа) с заданной точностью с использованием технологий и инструментов измерений для фиксации географических координат и высотных отметок и отображением гор и долин изолиниями высот, причем процесс создания топографических карт не сводится к хождению с компасом по территории и "поиску" или "разведке" гор и долин, как это происходит при "поисках и разведке" полезных ископаемых. Соответственно, оценка результатов производится не в погонных километрах и кубометрах канав (затраченных усилиях и освоенных средствах), а по степени соответствия реплики природному оригиналу, т. е. по достижении в результате работ заданного числового значения КС и получения реплики заданного качества.

Эта позиция подразумевает создание и использование корректных метрологических основ и технологий измерения информации с заданным значением КС, и такие технологии имеют очень мало общего с тем, что в традиционной поисковой практике называется "технологией поисков": экспертных инструктивных предписаний некоторой последовательности действий. Если цель поисков – блуждание по территории и освоение средств по статьям сметы, то эта инструктивная "технология поисков" не имеет точек пересечения с "технологиями рудного аудита", цель которых – получение информационных реплик с заданным значением КС: разные технологии для достижения разных целей. Возможности традиционных инструктивных технологий уже давно исчерпаны, они давно перестали быть эффективными, и их со словами искренней благодарности предшественникам уже давно следовало бы оставить на предыдущих страницах истории горного дела.

2. ИДЕОЛОГИЯ РУДНОГО АУДИТА

Новые подходы к выявлению и освоению рудных объектов имеют собственный теоретический фундамент, который значительно ближе к основам, используемым в прикладных реализациях технических наук. Отсутствие практики применения этих основ в поисковой геологии и горнорудном производстве создает необходимость кратко и без излишней детализации сформулировать концептуальные основы рудного аудита и на этом базисе остановиться на особенностях применения теории измерений для конструирования технологий получения результатов, в том числе информационных результатов.

2.1. Концептуальные основы рудного аудита

Идеология рудного аудита – это отображение природных объектов в их информационные реплики с заданным значением КС реплики природному оригиналу. Главное концептуальное и практическое отличие создания информационных реплик от идеологии поиска рудных объектов заключается в том, что при создании информационной реплики нет необходимости что-либо искать (поиск меди, золота, хрома, ...), поскольку рудная информация автоматически отображается в результирующем документе, так же как на фотографии отображаются все объекты на переднем, среднем и дальнем плане, попавшие в кадр. Фотография – это информационная реплика, причем качество реплики обусловлено не капризом фотографа или его художественным вкусом, а параметрами инструмента отображения, в которых опосредованно заключен весь объем предшествующих теоретических и технологических знаний: физические законы оптики, механики, электроники, технологии изготовления линз, химических веществ или электронно-оптических элементов, обеспечивающих "запоминание" изображений, и мн. др.

Свойства природного оригинала, включая рудные объекты, зафиксированы в реплике не поисковыми усилиями, а вследствие применения выбранной технологии отображения. Процесс поиска руд сведен к одновременному измерению информации о всех видах и элементах природных объектов, которые попадают в поле зрения и к которым чувствительны выбранные технологии и инструменты измерения, т. е. поиски в новом варианте становятся технической задачей по выбору технологий и инструментов измерения и последующему выполнению измерений.

В этой идеологии поисковая геология впервые обеспечивает динамическое равновесие между целями и средствами: факт освоения денежных средств и соответствие фактических затрат статьям сметы при выполнении поисковых работ перестает быть самым результатом работ, реальный результат не зависит от затраченных усилий и менеджерско-бухгалтерской суеты по организации "поисков". По отношению к результату стоимостные оценки применимы только для значения коэффициента соответствия природного оригинала информационной реплике: чем ближе к идеалу (чем выше качество) – тем дороже, причем зависимость эта экспоненциальная. Значение КС задается до начала работ и определяет выбор технологии выполнения работ и их стоимость. (При этом полезно не забывать, что $КС = 100\%$ отражает мечтания и фантазии, но не реальность: не бывает "абсолютной истины" и "абсолютно точного измерения": стоцентная величина соответствует бесконечно большой стоимости.)

Информационные реплики создаются путем применения специализированных технологий на надежной метрологической основе, обеспечивающих получение конечных информационных продуктов заданного качества, поэтому практическое значение и качество реплики во многом определяются качеством того инструмента (технологии), который использован при ее создании. При создании информационной реплики нет необходимости выполнять "геологическое изучение территорий" или "поиск месторождений полезных ископаемых": вся информация о геологических объектах копируется и отображается в информационной реплике, так же как вся информация об улицах и домах отображена на карте города, и нет необходимости осуществлять "поиски" домов, блуждая по территории, – их положение определено и отображено в информационной реплике города. Информационные реплики не создаются при помощи эвристических "поисков", поэтому качество реплики (полнота информации, чувствительность, точность) определяется параметрами выбранной технологии отображения.

Между тем однажды созданная информационная реплика не является чем-то завершенным и окончательным. На уже созданной реплике могут отображаться новые свойства объектов, например количество этажей домов на карте города. Целостность и устойчивость реплики обеспечивают метрология технологии ее создания и коэффициент соответствия информационной реплики природному оригиналу.

На первый взгляд может показаться, что в варианте использования традиционных поисковых подходов на некоторой территории с последовательным и поэтапным укрупнением масштаба поисков информационная реплика также может быть получена, однако это не так. Сумма результатов произвольных эвристических попыток не ведет к созданию конечного продукта заданного качества: суммирование отдельных текстов не создает целостного литературного произведения. Примером могут служить попытки генерализации аналитических результатов геохимических поисков на отдельных поисковых площадях при создании региональных сводок и обобщающих геохимических карт. Забегая вперед (подробнее будет обсуждаться в гл. 4), следует принять во внимание, что аналитические данные по отдельным площадям не соизмеримы (сравниваются "зеленое" и "вкусное"), поэтому формирование единой базы данных для обобщений и сами обобщения не будут корректными. С позиций рудного аудита подобная попытка приводит к созданию одного из вариантов авторского образа объекта неопределенного качества (т. е. произведения искусства), но не информационной реплики, аутентичность которой учтена в коэффициенте соответствия. Такой же вывод справедлив, если выполняются геохимические поиски на каждой отдельной площади: при геохимических поисках не измеряется информация, как это делается при создании информационных реплик.

2.2. Специфика измерений

В 2.1 уже указывалось, что рудный аудит – это активность по получению информационной реплики природного объекта с заданным значением коэффициента соответствия реплики природному оригиналу. Эта трактовка термина "рудный аудит" во многом тождественна понятию "измерение", поэтому для дальнейшего изложения важно указать те основные признаки и элементы, которые позволяют отнести производимые действия к категории "измерение".

Философы или историки наук могут поправить, но в арсенале всего Знания, накопленного человечеством, нет ничего более фундаментального, чем законы (принципы) логики. Помните: если "А" больше "В", а "В" больше или равно "D", то "А" больше "D", т. е. установление соотношений между объектами является тем фундаментом, на котором построена даже самая фундаментальная из наук – Арифметика. Понятно, что если, например, это утверждение не истинно, то исчезает все чело-

веческое Знание: нет ни арифметики, ни других наук и устойчивых формализованных суждений более высокого уровня.

Что же такое "измерение" как логическая категория? Это обычное для повседневной жизни понятие, которое следует применять при работе с потенциальными или уже выявленными рудными объектами, на которых производятся измерения различных свойств, например концентраций химических элементов в группах проб для принятия производственных или управленческих решений.

Измерение как логический элемент – это всегда сравнение. Измерение реализуется путем установления соотношений между двумя категориями сравнения: объектом измерения и измерительной моделью объекта. Утверждение требует пояснений, поскольку в большинстве случаев оно неизвестно геологам, обогатителям и студентам или просто игнорируется в практике работ, хотя затронута принципиально важная тема, прямо влияющая на эффективность работ всех видов и масштабов. Практически же будет "тестироваться" аксиома теории измерений: без априорной информации измерения невозможны и "измерительные" действия в отсутствие измерительной модели – это генерация случайных чисел. Высказанное утверждение удобно проанализировать, проделав мысленный эксперимент.

Несколько наблюдателей сидят в ряд и смотрят в одну сторону. В поле зрения у них размещено одно или несколько зеркал, причем каждое из них имеет сложную поверхность, воспроизводя образы предметов соответственно кривизне поверхности зеркала, а также каждое из зеркал различным образом передает цветовой спектр отраженных предметов. За спинами наблюдателей расположен некоторый предмет, который не находится в поле зрения наблюдателей, но отражается в зеркалах. Вопрос наблюдателям: "Какой предмет находится за их спинами?"

Очевидно, что для ответа на вопрос необходимо выполнить некоторые сравнения (измерения), используя тот объем информации о предмете, который представлен в изображении каждого из зеркал, причем информация о предмете, отображенная в зеркалах, объективная и никоим образом не зависит от наблюдателей. Изображения можно фотографировать, оцифровывать, проводить статистическую обработку, применять математический аппарат анализа изображений и т. д., т. е. подменять ответ на заданный вопрос активной, но бессмысленной деятельностью (ранее эта деятельность классифицирована как "генерация случайных чисел").

Как это ни парадоксально, но наблюдатели не могут ответить на заданный вопрос (опознать предмет): изображения есть, но как установить, какое из них "правильно" отображает предмет, и тем самым опознать сам предмет. Максимально возможное, что удастся сделать наблюдателям после коллективных "научных" дискуссий – это договориться о том, какой предмет находится сзади них, закрепить решение в совместной декларации, подписать ее и заверить печатью, однако более вероятно, что договориться ни о чем не получится: разговоров много, а смысла мало. Волевое решение не есть сравнение (т. е. измерение), поскольку никакого сравнения не проводилось: было выполнено "назначение", но не "измерение".

Все сразу изменится, если дополнить условия эксперимента и разрешить каждому наблюдателю на короткое мгновение оглянуться, увидеть предмет и затем снова посмотреть на отражения в зеркалах: предмет будет незамедлительно опознан (формализован) с предоставлением объективной аргументации, т. е. фактов, указывающих на реальные свойства предмета, объективно отображенные в зеркалах. Причем совершенно неважно был ли предмет известен наблюдателям или они видели его первый раз в жизни.

В чем причина кардинальных изменений? Причина очевидна: к "объекту сравнения" добавилась вторая логическая составляющая, необходимая для выполнения сравнений (измерений). Это измерительная модель (априорная информация), причем она именно появилась в виде ментального образа в голове у каждого из наблюдателей, но не по Божественному промыслу или была взята из справочника во исполнение какого-либо Закона Природы. Это означает, что измерительная модель субъективна и поэтому "правильное" или "истинное" измерение невозможно (еще одна аксиома теории измерений). Если жизненный опыт у каждого из наблюдателей близок, то их ментальные образы измерительной модели в основных чертах будут сходными и опознание (измерение) предмета за спинами наблюдателей по изображениям в зеркалах не потребует дискуссий. Более того, теперь наблюдатели смогут указать причины, которые формируют именно тот вид объекта, который воспроизводится каждым из зеркал, т. е. они могут получить данные о зеркалах как об инструментах измерения и создать (договориться и принять) стандарты для выполнения измерений объектов такого рода. В этом случае каждое из зеркал будет независимым инструментом изме-

рения, объективно воспроизводя различные свойства объекта измерения в рамках измерительной модели.

Этот контекст порождает важное следствие: если измерительная модель (оставаясь адекватной объекту сравнения) может допускать вариации параметров в некотором диапазоне значений, то эта модель будет адекватна не одному единственному, а группе объектов, которые могут быть корректно измерены теми же инструментами измерений с возможностью оценки инструментальной погрешности измерений. Результаты измерений всех объектов в этом случае будут соизмеримыми, но соизмеримость исчезает, если реальные свойства объектов измерения будут выходить за границы диапазона вариаций данного параметра измерительной модели: возникнет ситуация, при которой числовые значения "тяжелого" будут сравниваться с числовыми значениями "горячего", т. е. числа сравнивать можно, но смысла в сравнениях не будет (типичный случай при геохимических поисках).

Результат любого измерения – это некоторая величина плюс/минус погрешность. В логике изложенного суммарная погрешность измерения равна погрешности измерительной модели плюс погрешности инструментов и технологий измерения. Если источники инструментальной погрешности в целом понятны и поддаются оценке (неточность эталонов и стандартов, шумы и дрейфы инструментов измерений, изъяны технологий измерения, нарушения технологического регламента измерений и прочее), то погрешности, связанные с неадекватностью измерительной модели, могут быть оценены только эмпирически (проверка теории осуществляется практикой). Измерительная модель (априорная информация) ментальна, а субъективный образ лишь с некоторым приближением соответствует материальному оригиналу (объекту или группе объектов измерения). Наименьшие погрешности и максимальное качество результатов измерений получаются в том случае, если при формулировке измерительной модели учитываются все самые современные представления о конкретном объекте измерений. В качестве иллюстрации: очень вероятно, что этим свойством обладает измерительная модель адронного коллайдера (вся сумма теоретических знаний и практического опыта), составляющая основу одноименного инструмента измерений для обнаружения, например, бозона Хиггса.

Приведенный анализ логической категории "измерение" позволяет сформулировать выводы, которые являются элементами фундамента объектного (рудного в том числе) аудита:

– измерения в отсутствие измерительной модели невозможны (постулат теории измерений: измерения невозможны без априорной информации);

– измерительная модель должна соответствовать объекту измерения;

– корректные измерения возможны только в пределах ограничений измерительной модели;

– "измерения" в отсутствие измерительной модели – это генерация случайных чисел, генерация несоизмеримых результатов "измерения".

В таком варианте понимания логики измерений целесообразно, не углубляясь в детали, отметить, что в практике работ часто употребляется понятие "достоверность" как критерий истинности результатов. Среди специалистов нет единого отношения к этому термину: он может трактоваться как строгое понимание некой сущности, но также часто рассматривается как термин свободного пользования. Здесь и далее в тексте слово "достоверность" употребляться будет, но только в качестве термина свободного пользования по простой логике: если оговорена измерительная модель, то все результаты, полученные в рамках ограничений модели, достоверны, а за рамками – ничтожны (генерация случайных чисел), и поэтому во втором варианте рассуждать о достоверности случайных чисел не имеет смысла. При корректных измерениях в рамках измерительной модели нет места "достоверности" в качестве критерия истинности, правильнее говорить о погрешности измерений, но погрешность – это оценка качества, но не истинности. Однако до сих пор ни в геологии, ни в горнорудной деятельности ни разу не было упоминаний или указаний на само наличие и необходимость использования понятия "измерительная модель" для получения корректных аналитических результатов, т. е. по традиции генерировались случайные числа (далее в этом можно будет неоднократно убедиться на практических примерах). До тех пор, пока в обиход специалистов не войдут правила корректных измерений, словосочетание "достоверные результаты" следует употреблять в качестве термина свободного пользования. Отношение к "достоверности" должно быть бинарным: результаты либо достоверные, либо недостоверные. Формальный критерий достоверности – обоснована ли измерительная модель и есть ли оценки погрешности модели (результаты достоверные) или такого обоснования и оценок нет (результаты недостоверные). Попутно задумаемся, много ли достоверных данных, полученных в предыдущие десятилетия в СССР и РФ, хра-

нится и используется для металлогенических обобщений в геохимических базах данных по регионам (предписаны инструкцией 1983 г. и прил. 3 к инструкции по Геокарте-200, 1999 г.) и есть ли в этих базах действительно достоверные данные с позиций критерия достоверности, сформулированного ранее? Платочки для утирания слез продаются в отделе "аксессуары".

В этом контексте уместно краткое отступление. В гл. 1 уже говорилось, что "сейчас" – это реализация будущего, созданного в прошлом. А какое будущее видится отраслевым управленцам? Воспроизводство и навязывание выработавших свой ресурс предписаний, инструкций и других отходов управленческой жизнедеятельности в качестве гарантий будущего "блага и процветания" в каждый текущий момент времени вызывает у специалистов только безгливость, отторжение и желание вымыть руки с мылом.

Два отраслевых головных государственных геологических института ежегодно осваивают бюджетное финансирование на обработку аналитических данных прошлых десятилетий, полученных по территории России для создания геохимических и прогнозно-металлогенических карт по несоизмеримым аналитическим данным по давно устаревшим технологиям, объединяющих ужей с ежами и горячее с тяжелым под лозунгом "инноваций" и "цифровизации", и все это под большой бюджетной крышей "Роснедра". Технологии рудного аудита могут надежно справляться с разбраковкой разнородных данных и выделять массивы корректных данных для прогнозных оценок территорий, но для этого придется сначала отстранить "эффективных менеджеров" от распределения денег и заменить их профессионально пригодными специалистами. Это и будет созданием будущего из прошлого, иначе все будет наоборот: останется прошлое без будущего.

2.3. Выбор измерительной модели

На рис. 2.1 показаны два объекта: *a* – сосуд с раствором соли железа; *б* – такой же объем жидкости с металлическим железом. Требуется сравнить концентрацию железа в каждом из сосудов.

Для выполнения корректных измерений необходимо выбрать и принять измерительную модель для каждого объекта. Причем без каких-либо обоснований очевидно, что измерительные модели, технологии, инструменты измерений для вариантов *a* и *б* будут разными.

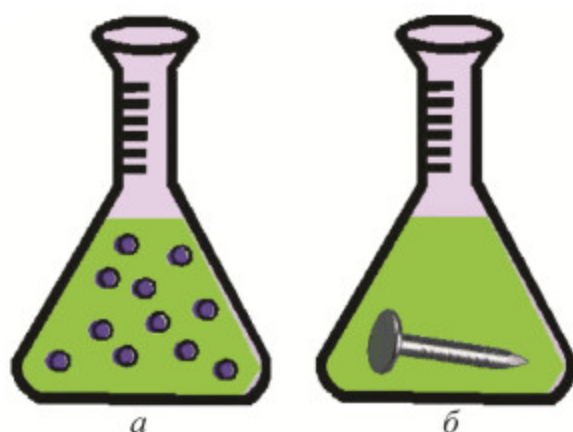


Рис. 2.1. Различие измерительных моделей для объектов измерения

Объект на рис. 2.1, *а* – гомогенная жидкость, в которой в силу природы истинных растворов практически любые микрообъемы раствора имеют одинаковую концентрацию растворенных веществ, если не уменьшать микрообъем до размера, занимаемого несколькими атомами (а это уже ограничения измерительной модели). Это позволяет применять измерительную модель "гомогенная жидкость" и отбирать небольшие аликвоты (навески) для выполнения измерений. Причем по любой из таких аликвот корректно определяются равные значения концентрации железа (с точностью до погрешностей измерения прибора).

Осознанное или неосознанное использование той же измерительной модели "гомогенная жидкость" для измерения концентрации железа в объекте на рис. 2.1, *б* лишено смысла: любой микрообъем или любая часть системы "жидкость плюс металл" будет продуцировать в качестве результата случайные числа вместо правильных значений концентрации железа в объекте *б*. Это является закономерным следствием выполнения "измерительных действий" при неадекватной измерительной модели. Многократные измерения частей или аликвот объекта на рис. 2.1, *б* продуцируют случайные значения концентрации в каждой аликвоте, причем даже если повторно будет анализироваться только жидкая или только твердая фаза, то, несмотря на воспроизводимость некорректных результатов, значения концентрации железа в системе не станут корректно отображать свойства и химический состав объекта "жидкость + металл".

Отсюда вывод: нет шансов получить корректный результат ни по единичному "измерению", ни по статистической выборке таких псевдоизмерений, если измерительная модель неадекватна и последующий статистический анализ некорректных результатов "измерений" не имеет смысла, хотя подобное часто практикуется в ходе геохимических поисков и при разработке технологических регламентов для геолого-технологического картирования руд на месторождениях.

Корректное значение концентрации железа в объекте *б* можно получить, лишь предложив адекватную измерительную модель, но в этом

случае технология и инструменты измерений будут совершенно другими в сравнении с вариантом измерений концентрации в объекте *a*.

В подавляющем большинстве случаев объектами измерения в геологии и горнорудном производстве являются пробы либо рыхлых осадков, либо горных пород или руд, либо искусственных продуктов переработки пород и руд. (Правильнее говорить о всех областях научной и практической деятельности, в которых выполняются исследования и работы с твердыми веществами.) Огромное разнообразие таких объектов измерения имеет общие черты: все они состоят из отдельных твердых частиц и каждая из проб имеет специфический модальный минеральный и элементный химический состав, отдельные частицы могут быть гомогенными или полифазными агрегатами разного размера. Все множество подобных объектов измерения составляют единый собирательный класс типа "куча" (зрительный образ – куча песка), для которого должна существовать адекватная измерительная модель, обеспечивающая получение корректных результатов измерения всех видов проб, соответствующих этому классу объектов. Использование в практике работ измерительной модели "куча" позволяет по единым правилам выполнять измерения свойств любых объектов этого класса и получать корректные соизмеримые результаты независимо от того, является ли конкретный объект рыхлым осадком, горной породой или рудой. (Попутно: в этот же класс входят многие другие естественные и искусственные материальные объекты.)

2.3.1. Анализ куч

Куча – это локализованное в произвольном объеме полифазное множество единиц твердых веществ (рис. 2.2).

Все свойства кучи как целостного комплексного материального объекта удобно подразделить на две группы: аддитивные и неаддитивные. Далее в тексте принято очень удачное, по мнению авторов, определение аддитивности [по ru.wikipedia.org/wiki, 2018]: "Аддитивность – свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, в некотором классе возможных разбиений объекта на части". Например, масса кучи, объем, суммарные массы химических элементов – это аддитивные свойства куч, а цвет, электрическое сопротивление, линейные размеры, форма и другие – это неаддитивные свойства.

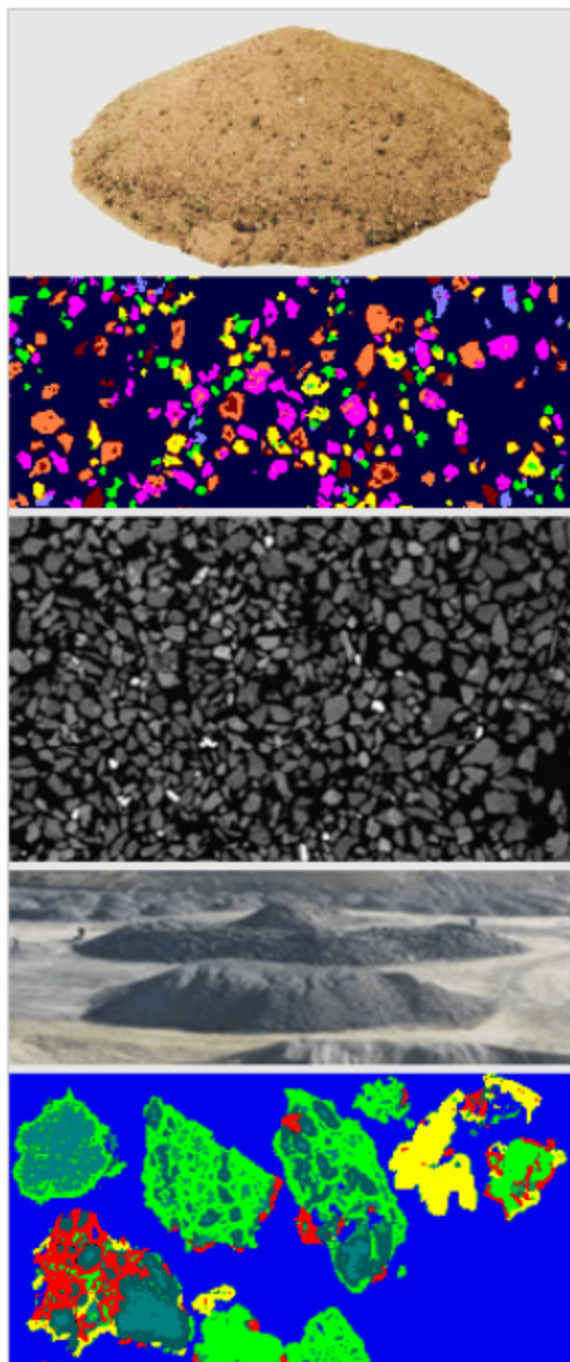


Рис. 2.2. Различные варианты куч и средств отображения состава куч

В практической работе при выполнении измерений свойств таких сложных комплексных объектов, как кучи, традиционно используются либо интегральные значения аддитивных свойств (суммарная масса, валовой химический состав и др.), либо кучи описываются через свойства единичных элементов, составляющих эти кучи, причем в тех параметрах и переменных, которые присущи единичным элементам, но совсем не тем, которые характеризуют сами кучи. Ни первый, ни второй варианты не рассматривают кучу "как локализованное в произвольном объеме множество единиц твердых веществ": в первом случае куча принимается за единый и неделимый объект, а во втором – куча как объект вообще исключается из рассмотрения и заменяется единичным и выделенным из кучи элементом (куча песка исчезла, осталась одна песчинка; в лучшем случае речь может идти о случайном множестве единичных элементов, но не о аддитивном множестве). Хорошая иллюстрация этого приведена на рис. 2.1, б.

Ни первый, ни второй варианты не обеспечены корректной и непротиворечивой логикой измерения аддитивных свойств куч, что ставит ошеломленного этим выводом исследователя перед фактом: идеология, технологии и инструментарий измерения куч отсутствуют! Этот факт является непреодолимым препятствием на пути решения многих практических задач: поиски и последующая оценка ресурсов и резервов рудных объектов, аналитика при физико-химических исследованиях и в материаловедении, выполнение специализированных аналитических исследований в области археоло-

гии, экологический мониторинг и другие направления и области, связанные с комплексными твердотельными объектами. Только построенные на *идеологии анализа куч технологии рудного аудита*, охватывающие области металлогении и горнорудного дела, выделения природных разновидностей и технологических типов руд, мониторинга процессов обогащения и контроля коэффициента извлечения рудных компонентов, в значительной мере защищены от устаревших традиционных подходов, и это достигается при применении новых подходов: идеологии анализа куч.

Логика выделения параметров, которыми характеризуются именно кучи, а не отдельные составные части куч, определяется обоснованием и выбором переменных балансной модели (системы уравнений баланса) для аддитивных свойств данной кучи, т. е. составные части куч представляются в таком виде, в котором носители аддитивных свойств отображаются переменными, значения которых могут быть просуммированы, и полученная сумма будет соответствовать интегральному значению этого свойства для всей кучи.

По сути, формализация комплексного материального объекта "куча" отображается матрицей коэффициентов системы уравнений, где все элементы матрицы независимы, а конкретные состояния кучи реализуются в сочетании числовых значений решений системы уравнений. Это очень важный вывод, поскольку в отличие от геохимических и минералогических традиций сложный объект впервые характеризуется сочетанием (именно сочетанием, матрицей) значений переменных всех уровней, а не частными значениями величин отдельных элементов системы. (Прозрачный намек на "метод Дж. В. Гиббса".)

Пример. Сумма масс кремния во всех зернах всех размеров всех фаз равна массе кремния во всей куче: группы переменных "все фазы с кремнием", "сумма масс" (с учетом химического состава, линейных размеров и плотности фаз) связаны в систему линейных уравнений баланса аддитивных свойств.

В этом контексте формализуются логические блоки анализа куч:

- выделение аддитивных свойств данной кучи;
- выделение единиц носителей (переменных) аддитивных свойств данной кучи (выделение слагаемых и составление уравнений баланса);
- обоснование граничных значений параметров измерительной модели "куча";

– документация распределения величин аддитивных свойств и баланс с интегральным значением любого аддитивного свойства всей кучи.

Вытекающие следствия:

– комплексный объект "куча" характеризуется распределением значений аддитивных свойств в множествах носителей этих свойств;

– традиции характеристики куч суммарными интегральными значениями свойств или некорректная практика присвоения свойствам куч произвольных значений параметров отдельных составных частей должны быть оставлены в прошлом.

Эти заключения находятся в полном соответствии с базовыми принципами аутентичного отображения природных объектов в их информационные реплики с заданным значением коэффициента соответствия информационной реплики природному оригиналу (см. гл. 1). Практическая работа в рамках идеологии анализа куч проводится по соответствующим технологиям, имеющим надежную метрологическую базу. В приложении к задачам геологии и горнорудного производства такие технологии включены в комплекс "рудного аудита".

На рис. 2.3–2.5 в качестве иллюстрации приведен сокращенный вариант исследования одной кучи по единственному (одному из многих) аддитивному свойству "масса золота в зерновой форме".

Графики "потери–извлечение" для золота в матрице $3...4 \text{ г/см}^3$, фракция $< 250 \text{ }\mu\text{м}$

Потери, %

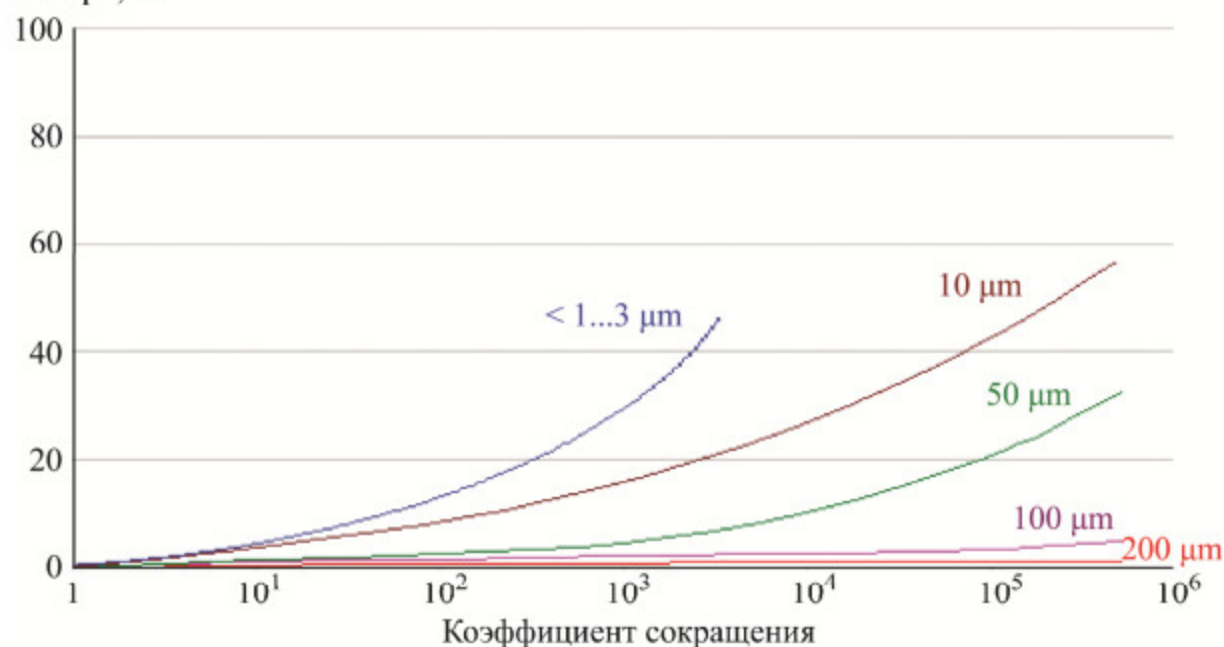


Рис. 2.3. Метрология инструментов получения тяжелых концентратов гранулометрических фракций

В исследовании использовалась метрологически обоснованная (здесь обоснование не приводится) комбинация двух авторских технологий и программно-аппаратного комплекса ImSca 3.2, которые обеспечили высокое значение коэффициента соответствия информационной реплики природному оригиналу ($KC > 80\%$). Вся технологическая цепь состояла из шести взаимосвязанных метрологией звеньев, причем одно из них обеспечивало получение рудных концентратов с метрологией, отображенной на графике на рис. 2.3, а другое – последующее получение данных по концентратам с использованием специализированных инструментов измерения и расчетов (программно-аппаратный комплекс ImSca 3.2, рис. 5.2 и 6.10).

Данные по тяжелым концентратам фракций 90...250 μm , 40...90 μm , -40 μm
AuAg

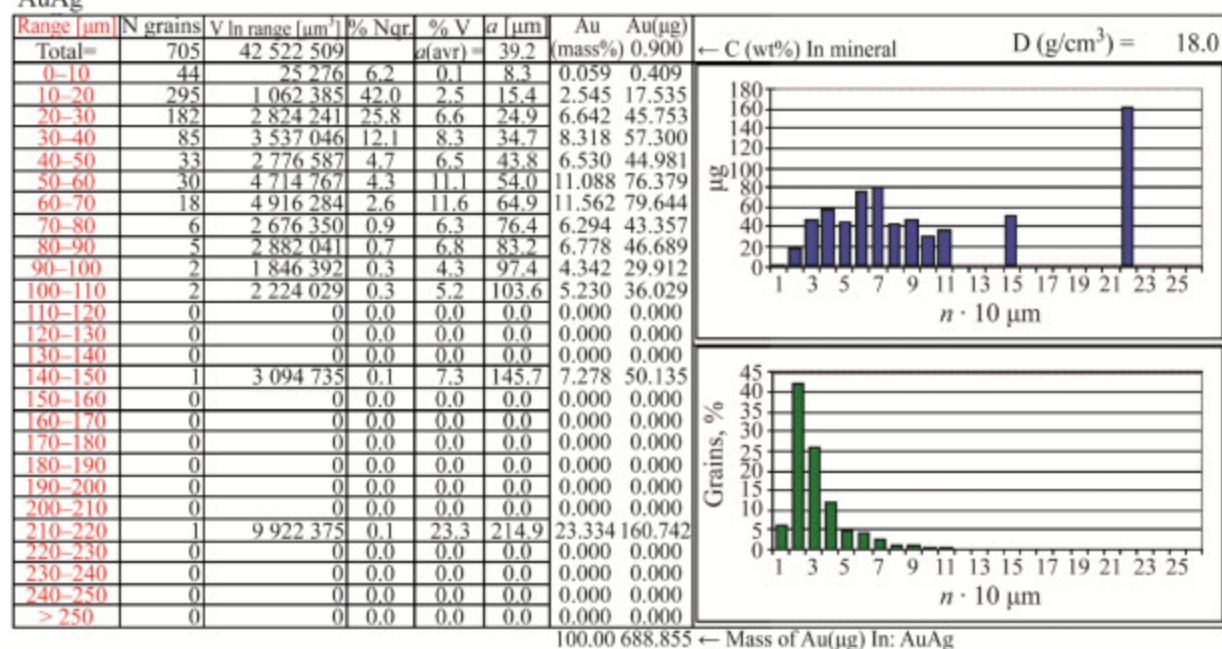


Рис. 2.4. Распределение масс золота по классам крупности

Расчет концентрации золота в зерновой форме пробы

	M (Au, μg)	Fr.wt (g)	CF	I (rec)	C (ppm)	C*M	C*M (%)
-40 μm	121.0	69.8	62 660	0.7	2.5	172.9	22.4
40...90 μm	291.0	140.3	26 260	0.9	2.3	323.4	41.8
90...250 μm	276.8	300.0	41 686	1.0	0.9	276.8	35.8
Sample	688.9	510.1				773.1	

$$\text{Au(samp. ppm)} = 1.5$$

I (rec) – извлечение, график; CF – коэффициент сокращения

Рис. 2.5. Расчет интегральной (балансовой) массы золота в пробе (куче)

Приведенный пример хорошо иллюстрирует то, на что обращалось внимание ранее: куча охарактеризована именно через сочетание и распределение аддитивных свойств в единицах – носителях свойств. При

этом куча не представлялась единым и неделимым объектом и не характеризовалась параметрами, которые характеризуют отдельные составные части, что типично для всех традиционных подходов при попытках решения тех задач, которые на самом деле не решаются на старой концептуальной основе. В приведенном примере нет ни одного обращения к куче как единому неделимому объекту, как и нет ни одного обращения к какому-то отдельному элементу, входящему в состав кучи. Между тем после проведенного анализа появилась полная ясность о распределении аддитивного свойства "масса золота в зерновой форме" в объекте типа "куча": в технологической пробе руды.

В контексте выбора измерительных моделей для получения информационных реплик в рудном аудите используются специализированные технологии на добротной метрологической основе, которые подробнее будут обсуждаться в следующих главах. При традиционных подходах вместо использования адекватных задаче измерительных моделей для получения информационных реплик с заданным значением КС неосознанно (по незнанию или иным причинам) применяются либо неадекватные, либо эклектичные эмпирические последовательности операций, что является неприемлемым с позиций рудного аудита.

В ходе геологического изучения территорий на стадиях оценки ресурсов или подсчета запасов рудных компонентов осуществляется сбор и химический анализ большого числа проб для оконтуривания ореолов рассеяния с целью выявления месторождений твердых полезных ископаемых, определения технологических свойств руд и разработки схем обогащения. На уже выявленных рудных объектах выполняется технологическое картирование и мониторинг процесса обогащения, что также требует проведения большого объема аналитических работ по пробам руд и различных продуктов обогащения.

В традиционной практике это сводится к измерению концентраций химических элементов (в том числе рудных) с использованием тех или иных аналитических методов на оборудовании с известными метрологическими характеристиками.

В инструкциях и регламентах аналитических работ с рудными объектами обычно прописаны виды обработки и последовательности операций пробоподготовки и собственно аналитических процедур с использованием измерительных приборов. Единственный элемент, который отсутствует в инструкциях и регламентах, – нет указания на то, под

какую измерительную модель объекта писана инструкция, т. е. инструкции составлены для всего и ни для чего. В терминах рудного аудита – инструкции писаны для генерации случайных чисел. Между тем все этапы списочных инструктивных аналитических работ оптимизированы по объемам расходных материалов, трудозатратам, производительности, стоимости, и такая оптимизация безусловно имеет смысл, особенно если была бы оговорена измерительная модель. Оптимизация и использование современного оборудования, обладающего высокой чувствительностью, приводят к сокращению навесок проб (уменьшение расходных материалов и себестоимости) и увеличению производительности при приемлемом уровне инструментальных погрешностей результатов измерений. Многие инструментальные методы анализа используют навески проб от $n \cdot 0.1 \dots n \cdot 1$ г: эмиссионный спектральный (ЭС), рентгенофлуоресцентный (РФА), варианты анализа индуктивно-связанной плазмы (ИСП), атомно-абсорбционный (АА) и др. Для анализа микроколичеств благородных металлов с тигельной плавкой и последующим инструментальным завершением обычно используются навески более первых граммов.

Важно уточнить существенную деталь: такие навески достаточны для применения современных методов и лабораторных инструментов измерения, но результаты подобных измерений в смысловом отношении *еще никак не коррелируются с запросами и задачами геологов и обогатителей при работе с рудными объектами*. Результаты, полученные по псевдоизмерительной модели "навеска порошка для анализа", могут интересовать методиста аналитической лаборатории, но геологу или обогатителю они абсолютно бесполезны, поскольку измерительная модель и измеряемые свойства природных объектов, с которыми они имеют дело, совершенно иные, и это не следует забывать: измерения (точнее "измерительные действия") за рамками измерительной модели – это генерация случайных чисел (см. 2.2). Следовательно, измерительная модель именно того объекта измерения, который интересуется геолог или обогатитель, не сводится к модели "навеска для анализа" и должна быть корректно выбрана и обоснована заранее. Общая измерительная модель природного объекта только в качестве одного из составных элементов технологии корректных измерений будет включать частную измерительную модель "навеска для анализа" на этапах выполнения инструментальных аналитических работ. В свете

изложенного понятно, что правила выбора измерительных моделей тех объектов, которыми оперируют все геологи и обогатители, не должны оставаться вне их поля зрения, однако это очевидное требование, к сожалению, почти без исключений не соблюдается в их практической деятельности.

Чтобы подытожить вышеизложенное, целесообразно привести еще одну иллюстрацию наивной, но традиционной недооценки значения измерительной модели при геохимических поисках на золото. В рамках бюджетных тематических работ по профилю на поверхности, пересекающему рудные зоны месторождения, доказанные бурением в коренных породах и перекрытые чехлом рыхлых осадков элювия, из одних и тех же лунок было отобрано несколько десятков проб для выяснения концентрации золота восемью различными методиками, включавшими различные способы отбора проб необходимой массы, полевую и камеральную пробоподготовку и требующиеся по различным методикам виды химического анализа. В результате усилий организаций – авторов методик в каждой точке пробоотбора были получены значения концентраций золота, которые не совпадали, и различия между отношением минимального и максимального значений в каждой из точек отбора проб составляли от десятков до десятков тысяч раз. Аналогичные отношения для трех (из восьми) методик, предоставивших наиболее близкие значения концентраций, различались от двух до восьмисот раз. Совпадений концентраций, полученных по различным методикам с учетом погрешностей анализов, зафиксировано не было. Важно, что графики изменения концентраций по профилю по каждой из методик показывали различные положения максимумов и минимумов: все методики выявили "геохимические аномалии" в разных местах профиля, которые не совпадали друг с другом и с положением рудных зон в коренных породах (были отображены иллюзии, но не реальные объекты). Этот результат понятен: случайные числа после псевдоизмерений случайным образом распределились на профиле. Корреляцию максимумов концентраций над рудными зонами в коренных породах показала только одна методика (технология ОСРК, о которой речь пойдет в 4.2), которая до начала работ и сбора материала озабочилась созданием измерительной модели и в соответствии с моделью выполнила все этапы от полевого пробоотбора и пробоподготовки до выбора аппарата измерения концентраций, предусмотренного моделью.

2.4. Параметры измерительных моделей в рудном аудите

Многие свойства природных или искусственных твердотельных объектов, в частности горных пород, рыхлых осадков, руд и продуктов переработки руд, могут быть использованы для измерений в ходе рудного аудита в рамках единой измерительной модели (см. "анализ куч" в 2.3). Все перечисленные объекты являются полифазными наборами твердых частиц, частицы могут быть консолидированными массивными образованиями или несцементированными индивидуальными зернами, все частицы имеют характерную форму, размер и спектры распределения размеров частиц и фаз по гранулометрии, все зерна фаз и групп фаз имеют присущий им химический состав. Такой набор специфических свойств объектов рудного аудита определяет требования к измерительной модели. Измерительная модель должна обеспечивать функциональную связь как физических, так и химических параметров свойств объектов всех рангов от единичных твердых частиц до любых произвольных сочетаний групп и комбинаций групп частиц. Это общее требование для создания информационных реплик на всех этапах выявления и эксплуатации рудных объектов. Однако, несмотря на единство измерительной модели и параметров модели, акценты использования параметров в поисковых и обогатительных задачах могут быть разными. В первом случае акцент обычно делается на "концентрационных", а во втором случае – на "фазовых" параметрах, хотя эти квазиразличия условные. В измерительной модели "куча" все аддитивные свойства объекта имеют две неразрывно связанные составляющие: "фазовую" и "концентрационную". Наличие функциональной связи между уровнями (см. 2.4.1) позволяет условно обсуждать один из них в отрыве от другого, но абсолютизировать один из уровней – это логическое противоречие.

2.4.1. Выбор граничных значений параметров рабочей области

Для обоснования граничных значений параметров измерительной модели "куча" необходимо напомнить, что именно понимается под понятием "концентрация", если объект измерения твердое тело: массивные или измельченные фрагменты горных пород или руд или рыхлые осадки. "Концентрация" компонента по определению термина для твердых веществ понимается просто: это величина части от целого. "Концентрация" не является мерой материального свойства вещества, она

устанавливает лишь численные соотношения между отдельными элементами комплексной системы. Следовательно, "концентрация" не имеет размерности и сумма концентраций всегда равна единице (целому), т. е. массовая концентрация и сумма концентраций определяются как $C_i = m_i/M$ и $\sum C_i = 1$ (C и m – концентрация и масса компонента i ; M – масса пробы).

Тогда для n частиц фазы (минерала) j плотностью d , со средним размером a (аппроксимация формы зерен кубом) и концентрацией m рудного компонента в фазе j суммарную массу компонента i в навеске можно записать как

$$\sum (n m_i d a^3)_j,$$

где $j = 1, 2, 3, \dots$, следовательно, концентрация компонента i в навеске будет отвечать формуле

$$C_i = \frac{\sum (n m_i d a^3)_j}{M}. \quad (2.1)$$

Формула (2.1) удобна для предварительных расчетов (например, для выбора и расчета значений параметров рабочей области), но для оценки полноты и качества уже выполненных работ (например, минералогических работ или обогатительного цикла на действующем предприятии) в нее необходимо ввести дополнительную переменную: коэффициент извлечения I , причем $I = n/n'$ или $n' = n/I$, где n' – теоретическое число зерен; n – число практически извлеченных зерен. При замене переменной n в (2.1) на n' (точнее на n/I) переменная n тем самым переопределится и получит смысл "числа извлеченных зерен", а в знаменатель формулы добавится коэффициент извлечения I , значение которого может находиться в интервале от нуля до единицы:

$$C_i = \frac{\sum (n m_i d a^3)_j}{MI}. \quad (2.2)$$

Из (2.2) следует, что если речь идет об измерении концентраций в навесках смесей твердых веществ (куч), то значение концентрации зависит от общей массы навески, химического состава, количества частиц этого сорта в навеске и в значительно большей мере – от линейных размеров твердых частиц: концентрация – функция третьей степени от линейных размеров твердых частиц. Фрагмент поверхности в координатах C , a и M представлен на рис. 2.6.

Для корректного выбора граничных значений параметров измерительной модели полифазной смеси твердых частиц и расчета конкретных значений параметров измерительной модели требуется принять во внимание три основных параметра:

1) чувствительность работ и весь диапазон измеряемых концентраций;

2) аналитический гранулометрический класс;

3) максимальную массу навески для определения минимальной концентрации наиболее тяжелой фазы с наибольшим содержанием рудного компонента (массу представительной пробы).

В соответствии с (2.2) выполнение каких-либо измерительных действий в традиционном для геохимиков варианте по одномерной модели без твердого осознания и учета того, что корректный результат измерения – это функция трех основных переменных, гарантирует производство случайных чисел вместо корректных результатов.

Устоявшаяся практика "измерения концентраций элементов в пробе" и "построения карт геохимических аномалий" (распределения концентраций) в поисковой и разведочной геологии – это "измерения" по одномерной измерительной модели "гомогенная жидкость" (см. рис. 2.1), что является метрологическим нонсенсом для объектов "геохимическая проба": корректные измерения можно выполнить только с использованием измерительной модели "куча", т. е. с учетом не одной из трех, а всех трех основных переменных. Корректный результат измерений – это точка в системе трех координат, а не некоторое значение на единственной координатной оси "концентрация" по измерительной модели "гомогенная жидкость".

Выбор граничных значений параметров измерительной модели "куча" ограничивает рабочую область корректных измерений, проводится для конкретного рудного объекта или территории и учитывает специфику объекта и частные особенности, хотя перечень параметров твердо-

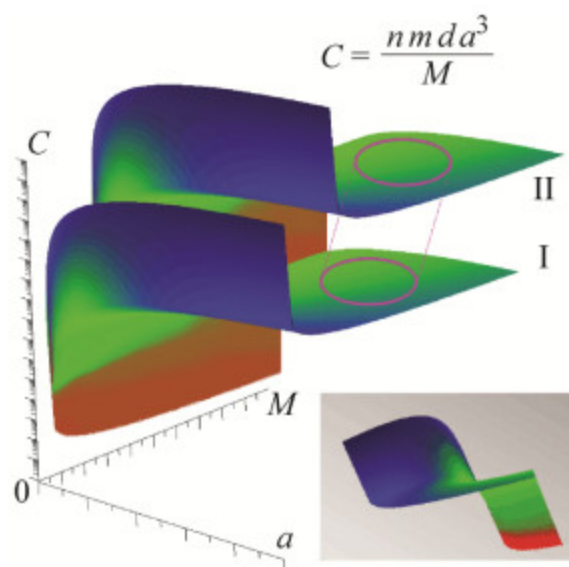


Рис. 2.6. Выбор рабочей области для измерения концентраций в смесях твердых веществ

тельной полифазной измерительной модели будет аналогичным практически во всех случаях. Это означает, что при выборе (расчете) конкретных значений параметров измерительной модели выделяется та рабочая область (см. рис. 2.6), для которой значения концентраций во всех пробах пород руд или продуктов обогащения будут соизмеримыми и все содержательные заключения и выводы, произведенные на основе корректных данных, также будут корректными. Диапазоны вариаций значений параметров заключены между поверхностями I и II на рис. 2.6 (диапазон по переменной C) и на каждой поверхности показаны проекции диапазонов вариаций по параметрам a и M . Всеми диапазонами совместно ограничивается объем, который является рабочей областью для решения конкретной задачи геолога или обогатителя (эколога, физика, химика, искусствоведа...).

Для геологии и других естественных наук и производств вышеизложенное обосновывает вывод и общее для всех комплексных твердотельных объектов правило измерений: корректные измерения и реконструкции природных или искусственных процессов требуют применения трехмерных измерительных моделей типа "куча".

Несмотря на то что границы рабочей области определяются тремя основными переменными, для предварительных оценок переменные можно условно и нестрого подразделить на переменные "фазового" и "концентрационного" уровней, т. е. для разных задач в (2.2) в качестве "функции" может быть любая из переменных, но общий вид зависимости между конкретной выбранной функцией и оставшимися переменными (аргументами функции) не изменится.

2.4.2. Параметры концентрационного уровня

Работы концентрационного уровня часто подразумевают необходимость расчета масс представительных проб, которыми являются не те ограниченные количества вещества проб (аналитические навески), загружаемые в прибор для определения концентраций, а именно сами исходные пробы пород, руд, концентратов или другие продукты обогащения руд (см. 2.1 и 2.2).

Масса представительной пробы в технологиях рудного аудита не является каким-то особенным параметром, хотя в традиционной практике геологических и горнорудных работ, в которой понятие "измерительная модель" не присутствует ни в теории, ни в практике, проблемы с определением представительности проб и техникой обработки пред-

ставительных проб всегда актуальны. Достаточно напомнить, что масса представительной пробы – это только одна из трех основных переменных (см. (2.2)), влияющих на получение корректных результатов измерений. Нет нужды еще раз подробно объяснять ход расчета масс представительных проб – это многократно опубликовано. Однако имеет смысл кратко и без деталей напомнить о типовых ошибках при получении аналитических данных.

Одна из ошибок очевидна: выбранная масса представительной пробы должна выдерживаться для всей группы проб для соблюдения соизмеримости результатов. Уменьшение массы приводит к утере представительности (nugget effect), а увеличение – к искажениям измерения величин: в обоих случаях измерения будут выполняться за пределами ограничений рабочей области (см. рис. 2.6). Допускается лишь кратное увеличение массы отдельных проб по отношению к представительной массе. В этом случае концентрации не изменятся по значению (а массы компонентов изменятся) и аналитические результаты (концентрации) всех проб останутся соизмеримыми и пригодными для сравнения.

Другой типовой источник ошибок заключается в том, что для многих рудных компонентов при заданной чувствительности работ (рис. 2.7 – 0.001 г/т для золота) масса представительной пробы достаточно велика (5.8 кг) и единичные зерна минерала ($n = 1$) в пробе находятся в тонких гранулометрических классах ($< 74 \mu\text{m}$). Типовой ход пробоподготовки порождает ситуацию, приведенную на рисунке. Корректные данные о содержании золота в пробе получить невозможно: либо (в большинстве случаев) золото в навесках для химического анализа массой 25 г обнаружено не будет, либо (в редких невоспроизводимых при повторных отборах и анализе проб случаях) будут фиксироваться ураганные концентрации. И в первом, и во втором случае данные некорректные.

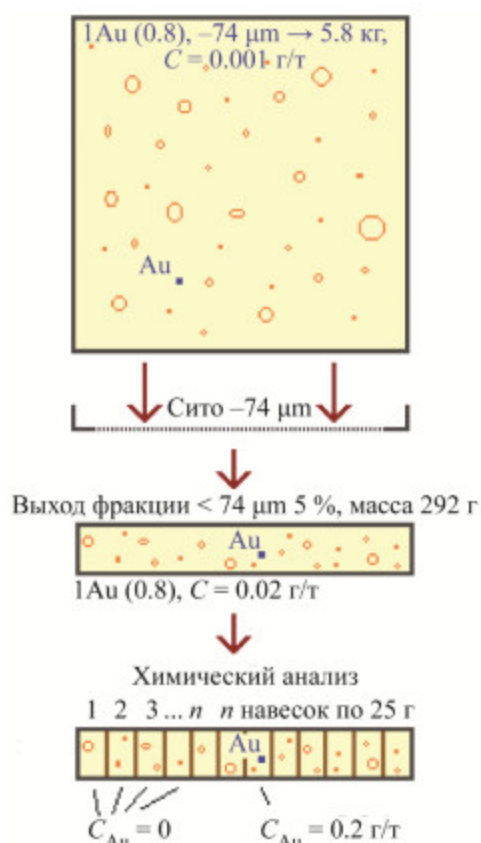


Рис. 2.7. Схема получения некорректных аналитических данных

Прекрасной иллюстрацией фатальных последствий некорректных измерений служит негативный опыт оценки перспективности архейско-палеопротерозойских мафит-ультрамафитовых массивов нагорья Ахаггар (Алжир) на платиноиды. В 2018 г. геологической службой Алжира (ORGM) выполнялся проект по ревизии результатов работ 1969–1971 гг. на платиноиды, исполненных подразделением Sonatrem, которые не позволили получить ясные представления о платиноносности территорий и массивов.

Sonatrem изучил более десяти массивов в различных тектонических доменах Ахаггара, проанализировал 580 проб (значительная часть анализировалась в ЦНИГРИ, Москва) с чувствительностью на платину 0.002 г/т по навеске около 3 г, десятая часть проб повторно анализировалась для контроля качества в независимых лабораториях. Большая часть анализов выявила значения на уровне нижнего порога обнаружения, приблизительно в пятидесяти пробах зафиксированы фоновые значения в интервале 0.005...0.05 г/т. Концентрации платины 1.0, 2.3 и 59.7 г/т были известны до начала работ Sonatrem, но неоднократный повторный пробоотбор и анализы не воспроизвели высокие значения концентраций в этих трех пробах.

Проект ревизионных работ ORGM предусматривал обработку больших групп проб ICP MS методом с предварительным кислотным разложением аналитических навесок исходных проб массой 0.5 г, что надежно обеспечивало чувствительность 0.001 г/т на платину в цепочке процедур лабораторного цикла измерений.

Приведенных данных достаточно, чтобы приблизительно оценить насколько вероятно, что цель работ Sonatrem и ORGM по оценке платиноносности территорий и массивов могла быть достигнута (типовая задача пред- или постпроектного рудного аудита) при применении принятых традиционных процедур получения аналитической информации.

С позиций рудного аудита очевидно, что использовалась одномерная измерительная модель, что изначально гарантировало получение не только некорректных аналитических данных, но и некорректных заключений о перспективности территорий и массивов на платину. Рассмотрим подробнее.

Используя (2.2) и данные на рис. 2.6–2.8, нетрудно подсчитать, что работы Sonatrem выполнялись в рабочей области с граничными значениями параметров по чувствительности по платине 0.002 г/т, по аналитическому

гранулометрическому классу $< 250 \mu\text{m}$ (типичный средний размер акцессорных платиноидов в пробах и рудах около $100 \mu\text{m}$ или находится в интервале $10...200 \mu\text{m}$). При этом масса представительной пробы для пороговой чувствительности составляла около 5 кг, а не 3 г, как это безосновательно предписано в техническом задании проекта, т. е. при таком эвристическом выборе одномерной измерительной модели и рабочей области (в то время еще не были известны технологии рудного

аудита и правила корректных измерений) и при принятой методике пробоотбора и химического анализа проб только в одной пробе из полутора тысяч платина могла бы быть зафиксирована, но количественные оценки были бы тотально некорректными. Это наглядно иллюстрируется на рис. 2.8. При анализе каждой пробы с чувствительностью на платину около 0.001 г/т единичные мелкие зерна платиноидов обеспечивают этот уровень концентраций в исходных пробах. При этом результаты измерений на лабораторном оборудовании, даже обладающем высокой чувствительностью, всегда случайны, поскольку результат определяется не инструментальной чувствительностью прибора, а случайностью: попаданием или не попаданием единичных зерен в маленькую аналитическую навеску. Очевидно, что все одномерные измерительные модели всегда (без исключений) будут формировать случайные числа в качестве результатов псевдоизмерений независимо от типа и чувствительности измерительных приборов. Получаемые в этом случае результаты всегда некорректные, но группируются в две разновеликие группы: группу, в которой результаты значительно искусственно завышены (редкие частицы случайно попадают в навеску для анализа), или в более многочисленную группу с пороговыми значениями концентраций (рудные частицы не попадают в маленькую навеску). При этом важно обратить внимание, что некорректные случайные результаты получаются для каждой из анализируемых проб и это делает сравнение данных по различным пробам практически бессмысленным по случайным значе-

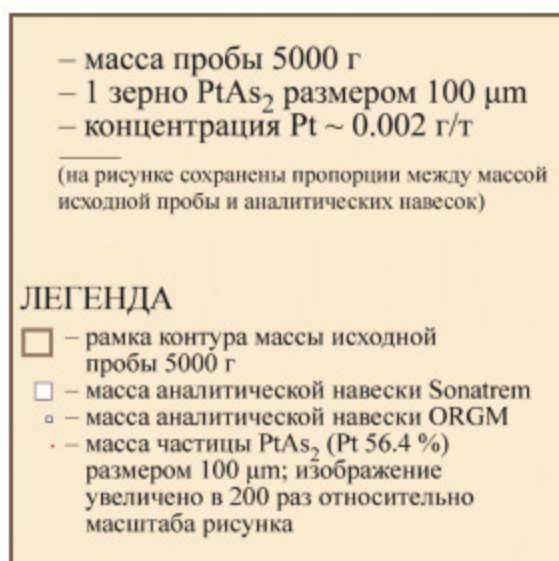


Рис. 2.8. Типизированная логическая схема анализа проб на платину Sonatrem (1969–1971) и ORGM (2018)

ниям концентраций в отдельных пробах для установления структуры распределения концентраций (например, построения геохимических карт, см. пример участка "Аномальный", рис. 3.1). Это означает, что по методике Sonatrem при анализе 3-граммовых навесок исходных проб только в одной из полутора тысяч будет обнаружена платина (если она есть), причем концентрация будет завышенной приблизительно на три порядка, а в остальных пробах выявятся нулевые значения, но это не будет свидетельствовать об отсутствии платины в этих пробах. Даже если только одно зерно минерала платины размером 100 μm (например, обычного сперрилита: PtAs_2) случайно окажется в аналитической навеске (см. рис. 2.8), то инструментально измеренная концентрация составит 1.9 г/т, вместо корректного для этого случая значения концентрации 0.002 г/т. Эта ситуация и была воспроизведена Sonatrem ранее на практике: большая часть из 580 проб – с нулевыми содержаниями платины, и только в единичных пробах была обнаружена платина, причем в ураганных, но не воспроизводимых при повторных анализах количествах. Цель работ – оценка перспектив на платину – не была достигнута, поскольку выбранная технология принципиально непригодна для решения подобных задач (о чем в то время было неизвестно). Необходимость выполнения ревизионных работ на платину стала очевидной.

Оправданием неудачных работ Sonatrem и напрасных затрат служит лишь то, что в то время (1969–1971) не были известны теория получения информационных реплик объектов и технологии рудного аудита (впервые общие принципы получения информационных реплик объектов и базисные понятия технологий рудного аудита приводятся только в этой публикации). В противоположность Sonatrem у ORGM в 2018 г. никаких оправданий быть не может: технологией работ по ревизионному проекту негативные факторы многократно усилены, хотя идеология получения аутентичных информационных реплик природных объектов и основные элементы технологий рудного аудита были доведены до исполнителей проекта. Для выбранных ORGM граничных значений параметров рабочей области со значительно сокращенными по сравнению с работами Sonatrem размерами аналитических навесок (см. рис. 2.8) только в одной из десяти тысяч проб будет выявлена платина, причем в этом случае ее концентрация может быть завышена почти на четыре порядка, а для остальных проб будут получены значения, близкие к нижне-

му порогу обнаружения элемента, и этот прогноз устойчиво воспроизводился на практике в ходе выполнения ревизионных работ. Словом, ни в одной из проб не будут выявлены действительные концентрации платины и целевая информация утонет в рукотворном информационном шуме (что и произошло на практике). Ревизионные работы оказались еще более некорректными и не добавили ясности в перспективы массивов территории Ахагтар на платину. Общая причина неудачных работ разных лет одна и заключается в неправильном выборе одномерной измерительной модели: одномерные модели не способны предоставлять корректную аналитическую информацию ($KC = 0 \%$). Глядя со стороны, ситуация очень грустная: широкое распространение мафит-ультрамафитовых комплексов различных рудно-формационных типов потенциально перспективных на платиноиды этими работами, выполненными по неработающим технологиям, так и не привело к корректным оценкам перспектив на платиноиды. А перспективы – объективно хорошие.

Приведенный пример, вскрывающий одну из причин целенаправленного производства негативных результатов, не единственный. Полезно также кратко обратить внимание на ситуацию, в которой необходимо в одних и тех же пробах получать корректные данные по нескольким рудным компонентам одновременно. В некоторых случаях такая задача усложняет механику пробоотбора и пробоподготовки, что будет отражаться на трудозатратах, производительности и стоимости работ. Например, если решается задача по поиску хрома и платиноидов, то трудно выбрать одинаковые рабочие области (см. (2.2)) для этих элементов, поскольку чувствительность работ (минимальное значение по оси C на рис. 2.6, не путать с чувствительностью инструментальной методики выполнения химического анализа), требующаяся для обнаружения всех этих элементов, будет различаться на 4–5 десятичных порядков или, что тождественно тому, что массы представительных проб, рассчитанные для заданных порогов обнаружения элементов, также будут различаться на порядки. Исполнителю проекта придется принять оптимальное решение перед началом работ и определить, что более эффективно: отдельный пробоотбор, пробоподготовка и химический анализ или внести в регламент полевых и лабораторных работ дополнительные этапы обработки проб, унифицирующие всю цепочку работ в целом, или вообще пожертвовать корректностью аналитических данных, что

легко принимается бухгалтерами-менеджерами, поскольку в их головах может помещаться только один тип корректных данных (рублевый): расходы соответствуют статьям сметы, претензий нет. Пандемия управленческого монетаризма до сих пор свирепствует в головах управленцев, и эта болящая на голову "элита" с начала 90-х гг. уничтожает все живое вокруг себя.

2.4.3. Параметры фазового уровня

Параметры фазового уровня всегда должны учитываться, если ставится задача по рудному аудиту и получению корректных данных с заданным значением коэффициента соответствия независимо от типа выполняемых работ. Во всем диапазоне традиционных геохимических работ от общих поисков до подсчета запасов и геолого-технологического картирования типов руд на действующих рудных объектах значение этого уровня традиционно недооценивается с соответствующими последствиями.

Информационная реплика объекта, полученная для заданного значения КС с использованием технологий рудного аудита, характеризует природный оригинал не только на концентрационном (элементном), но и на фазовом уровне. Из (2.2) следует, что параметры измерительной модели, связанные с элементным составом (переменные C и m), определяются через переменные фазового уровня, что естественно, поскольку в Природе (и пробах пород и руд) присутствуют именно и только вещества (фазы), состоящие из химических элементов, а не нематериальные числа-фантомы-концентрации, соответствующие частям от целого. Естественно, что концентрации как ментальные понятия определяются через материальный носитель химических свойств: через вещества, имеющие физические и химические свойства. Это означает, что для получения информационных реплик с заданным КС параметры фазового уровня должны учитываться на всех этапах получения конечного результата: от этапов конструирования технологии до формирования отчетных документов. Формула (2.2) измерительной модели "куча" функционально связывает как "фазовые", так и "концентрационные" свойства объектов измерения. Практическая иллюстрация этого приведена в табл. 2.1, в которой показано, что корректный подсчет рудных запасов невозможен без привлечения параметров фазового уровня: либо границы рудных тел, проведенные по заданным значениям

Таблица 2.1

Параметры отображения границ рудных тел

1	Борт (Au), г/т	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Фракция, μm	50	100	250	500	1000
	Масса пробы, г	4	30	475	3 800	30 400
2	Масса пробы, г	100	100	100	100	100
	Фракция, μm	50	100	250	500	1000
	Борт (Au), г/т	0.02	0.2	2.4	19.0	152.0

Примечание. Выбор значений параметров рабочей области при картировании границ рудного тела для различных размерных классов золота: 1 – выбор массы представительной пробы по значению бортового содержания; 2 – по массе рядовой пробы для химического анализа. Справочно: навеска на химический анализ часто существенно меньше и находится в интервале 0.5...3 г.

бортового содержания и определенные геохимическим опробованием по рядовым пробам стандартной массы без учета физических свойств фазового уровня (в том числе среднего размера фаз рудного компонента), будут "плавающие", либо для корректного отображения границ придется обрабатывать пробы переменной нестандартной массы, либо при закреплении массы представительной пробы величина бортового содержания будет переменной, а положение границ и форма рудного тела будут непредсказуемо искажены (следствие: "картирования с переменной чувствительностью"). В любом варианте происходит искажение свойств (включая величину запасов) и геометрии природного объекта "рудное тело".

2.5. Конструирование технологий отображения

Когда речь заходит о конструировании технологий, то возникает необходимость уточнить, что именно понимается под термином "технология". Практикуется две трактовки: бытовая и техническая.

Бытовая (рис. 2.9, схема I): если "технология" – это синоним "схемы работ", "схемы функциональных блоков", "последовательности операций" (обычно их показывают на чертежах прямоугольниками и кружочками, соединенными линиями со стрелочками), то конечный результат, его свойства и качество не определены. Здесь речь идет о процессе, о некой последовательности действий, а не о конечном продукте – результате обращения к технологии. Результат – это то, что получилось по факту выполнения работ, причем мера качества корреспондируется не со свойствами продукта, а с выполнением работ по схеме, утвержденной в некоторой инструкции или "технологическом регламенте".

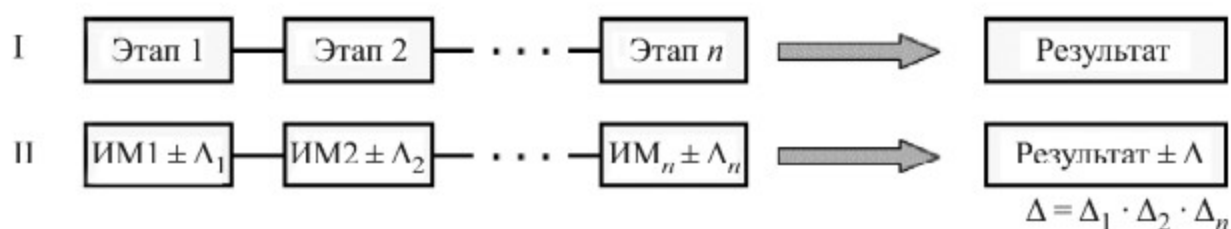


Рис. 2.9. Трактовки технологий:

I – бытовая; II – техническая (ИМ – измерительная модель)

Техническая трактовка (рис. 2.9, схема II): если "технология" предопределяет получение утилитарного конечного продукта с заранее заданными свойствами, то точно определен конечный результат и его свойства. В этом случае технология как средство достижения цели имеет жесткую иерархическую структуру: метрологию в качестве базиса, отдельные звенья, объединенные в цепь на основе метрологии, инструментальное наполнение звеньев цепи, причем в метрологический блок включен выбор измерительной модели и расчет граничных значений параметров модели (рис. 2.10). Технология конструируется под задачу: выбор, сочленение звеньев цепи и инструментальное наполнение звеньев предопределяют получение конкретного продукта с погрешностью, не превышающей значения, предварительно указанного в техническом задании.

Мера качества – это конечный результат с учетом суммарной погрешности всех звеньев технологической цепи (рис. 2.9). В технологиях рудного аудита качество результата задано и определено КС.



Рис. 2.10. Схема построения технологии

Различное определение термина "технология" (бытовое или техническое) приводит к получению принципиально различающихся результатов: действия для получения неопределенного продукта с неопреде-

ленными свойствами не эквивалентны самому продукту с заданными свойствами. Далее в тексте будет использоваться только второй вариант термина "технология".

Любая технология (в техническом понимании термина) имеет логически взаимосвязанную структуру элементов, но по типу "утилитарных конечных продуктов с заданными свойствами" технологии подразделяются на две группы. Технологии первой группы могут быть определены как технологии производства. В результате таких технологий производятся материальные объекты с заданными свойствами (утилитарный продукт: гайки, конфеты, самолеты, карандаши...). Технологии второй группы – технологии отображения – создают информационные реплики природных объектов, но не создают сами объекты отображения (утилитарный продукт – реплика). Рельеф территории, горная порода или руда – эти и подобные объекты создала Природа, и мы лишь можем при помощи технологий отображения создавать информационные реплики объектов с заданным коэффициентом соответствия информационной реплики природному оригиналу для использования информации в утилитарных целях: создавать топографические карты, определять свойства руд для извлечения полезных компонентов и т. д. Структура логических блоков технологий производства и технологий отображения одинакова (рис. 2.10) и не изменяется от целевого назначения каждой из них. (Несколько иные особенности внутренней структуры имеют только исследовательские технологии, см. 6.2).

В технологиях отображения, о которых и будет идти речь, каждое звено технологической цепи транслирует заданное измерительной моделью свойство от природного оригинала до конечного продукта с некоторой погрешностью и для каждого звена технологической цепи существует свое значение **коэффициента трансляции** информационного сигнала без искажений через данное технологическое звено, причем произведение коэффициентов трансляции всех звеньев цепи является характеристикой и мерой качества самого конечного продукта. **Коэффициент соответствия** – это произведение коэффициентов трансляции всех звеньев. Он обобщенно характеризует качество информационной реплики и работ всего технологического цикла (рис. 2.9). Это хорошо иллюстрируется примером из поисковой задачи. Предположим, что технологическая цепь содержит только пять звеньев: отбор проб, гомогенизацию, квартование, расситовку, химический анализ. Для идеального случая допустим, что измерительная модель строго адекватна (погрешность модели равна нулю, чего в природе не бывает, см. 2.2) и каждое звено транслирует значение концентрации рудного компонента из точки про-

боотбора с коэффициентом 0.9, что является очень высоким значением для каждого отдельного технологического звена (погрешности только химического анализа аттестованных методик сертифицированных лабораторий часто составляют 10–30 отн. %, причем вдали от порогов обнаружения элементов). Для этих условий значение КС конечного результата будет равно произведению коэффициентов трансляции каждого звена и составит $КС = 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.9 = 0.59$, т. е. даже для столь благоприятных условий только 60 % корректной информации будет присутствовать в информационной реплике – отчетном документе. Более того, коэффициент соответствия результата не может быть больше, чем минимальный коэффициент трансляции отдельного звена, поэтому каждое из звеньев пропорционально влияет на качество конечного результата. При некорректном выборе и расчете значения даже одного поискового параметра коэффициент трансляции критического для данного случая звена технологической цепи может быть равным нулю и корректная информация о природном объекте будет отсутствовать в отчетном документе. Хорошей иллюстрацией этого служит пример с оценкой перспектив нагорья Ахаггар на платину (см. 2.4.2).

Подобное часто происходит при геохимических поисках золота или платиноидов: фактический коэффициент соответствия реплики составляет менее одного процента ($КС < 1 \%$). Причем фактическое значение КС, полученное по завершении работ (это определяет постпроектный аудит), всегда будет иметь то или иное значение, независимо от того, знает ли управленец (менеджер, финансист) и исполнитель поискового проекта, что означает "коэффициент соответствия", "измерительная модель", "рабочая область" и другие понятия технологий рудного аудита, обеспечивающие получение корректных информационных реплик (солнце светит независимо от того, знает ли об этом управленец), или они работают в парадигме инструкции Мингео СССР 1983 г., с оценкой эффективности по факту "освоения бюджетных средств: соответствия фактических затрат статьям сметы". Технологии рудного аудита нужны геологам-практикам, но не в меньшей степени и управленцам-финансистам, распределяющим бюджетные средства на поисковые проекты (предпроектный аудит): незнание современных подходов гарантирует лишь неэффективные расходы, а ссылки на "незнание" ни в коей мере не оправдывают управленцев, а только свидетельствуют об их ограниченной профпригодности.

2.6. Типовые оценочные параметры рабочей области

Выбор параметров и расчет их числовых значений осуществляются для уже принятой измерительной модели, исходя из стоящей задачи, конкретных особенностей объекта локализации на поисковых стадиях или от специфических особенностей рудной минерализации на стадиях подсчета запасов и технологического картирования. Цель расчетов – установление граничных значений параметров рабочей области, в которых обеспечивается соизмеримость результатов измерений соответствующих свойств рудных объектов. Для полифазной твердотельной измерительной модели (кучи) процедуры расчета граничных значений параметров, определяющих рабочую область, не представляют затруднений, расчеты однотипны и выполняются по (2.2) с учетом аналитического гранулометрического класса, выбранного диапазона концентраций, набора рудных элементов.

Однако, несмотря на простоту расчетов, важность выбора конкретных значений, ограничивающих рабочую область, имеет принципиальное значение для получения корректных результатов всего цикла работ. Естественное, но опрометчивое желание выбирать диапазоны значений параметров измерительной модели как можно более широкими (или вообще не знать и не думать о них) приводит к непреодолимым трудностям на этапе выбора и сочленения звеньев технологической цепи, если не выходить за ограничения по КС каждого звена и всей цепи в целом (см. рис. 2.9, 2.10). Слишком широкие диапазоны значений параметров делают невозможным создание адекватной и практичной технологии работ. *В качестве примера:* попытка измерять концентрации золота в серии проб в диапазоне $n \cdot 1$ мг/т... $n \cdot 10$ г/т, сохраняя представительность проб для частиц $n \cdot 0.1$... $n \cdot 1000$ мкм, подразумевает обработку представительных проб, массы которых различаются на 5–7 десятичных порядков для получения соизмеримых корректных результатов. Даже если предположить, что инструментальная методика обеспечивает измерение концентраций в таком широком диапазоне с низким порогом обнаружения золота (например, тигельная плавка с ICP MS завершением), то ситуация не изменяется: невозможно предложить корректную и практичную методику полевой и лабораторной пробоподготовки, обеспечивающей обработку серии проб массой от миллиграммов до десятков тонн для частиц золота размером от микрометров до миллиметров.

Собственный опыт работ и расчетов в парадигме рудного аудита приходит быстро, однако полезно получить предварительные представления о специфике рабочей области как на этапах геологического изучения территорий, так и на этапах, когда осуществляются оценки ресурсов, подсчет запасов или геолого-технологическое картирование природных разновидностей и технологических типов руд (табл. 2.2).

На предварительных этапах оценки территорий на наличие рудных объектов (в старой парадигме "геохимические поиски") очень полезно осознать, какую именно информационную реплику требуется получить.

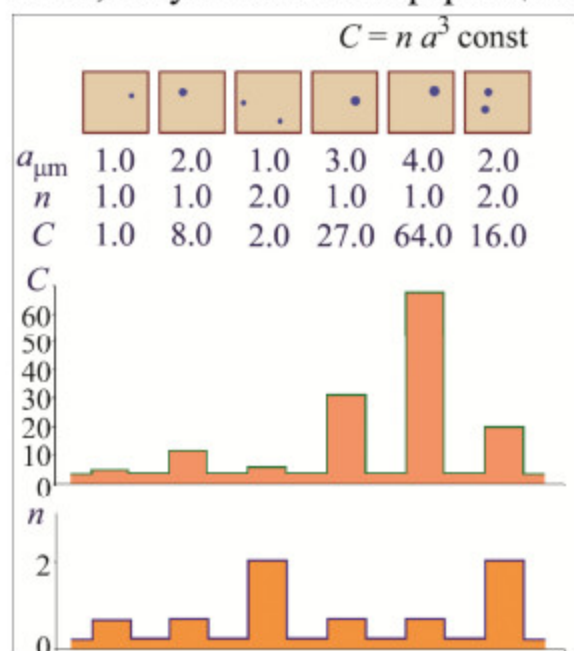


Рис. 2.11. Графики распределения значений числа частиц и концентрации золота в пробах профиля

Если исполнитель работ определился с рудным компонентом (например, золото) и с массой представительной пробы, то переменные m , M , d в (2.2) получают постоянные значения и сама формула примет вид, приведенный на рис. 2.11. Из формулы следует, что концентрация элемента в пробе пропорциональна двум переменным: количеству зерен в пробе и объему как третьей степени линейного размера зерен. На рисунке схематически изображены шесть проб, отобранных на некотором профиле, в каждой из которых разное количество зерен разного размера, а в табл. 2.2 показаны исходные данные и результаты расчета концентраций по этим данным для каждой пробы. Очевидно, что вклад в концентрацию размерного фактора в третьей степени (a^3) более весом, чем вклад переменной, связанной с числом частиц (n) рудного компонента.

На графиках (рис. 2.11) для каждой пробы приведены значения переменных C (концентрация золота в пробе) и n (число зерен). Сравнение графиков показывает: 1) значения переменной n невелики по сравнению с соответствующими значениями C и укладываются в фоновые значения C , следствием чего будет то, что потребуются более высокая чувствительность работ, если информационная реплика будет отображаться в величинах n ; 2) форма графиков с распределением ми-

На графиках (рис. 2.11) для каждой пробы приведены значения переменных C (концентрация золота в пробе) и n (число зерен). Сравнение графиков показывает: 1) значения переменной n невелики по сравнению с соответствующими значениями C и укладываются в фоновые значения C , следствием чего будет то, что потребуются более высокая чувствительность работ, если информационная реплика будет отображаться в величинах n ; 2) форма графиков с распределением ми-

нимумов и максимумов значений для переменных n и C не совпадает, что вызывает закономерный вопрос: "А что же отображается на геохимических картах в виде аномалий, положение которых на поисковой площади может быть различным, и какой поисковый смысл в них вложен, если концентрация – это произведение значений различных свойств пробы?" С позиций рудного аудита такой вопрос не возникает: на информационной реплике с заданными чувствительностью и погрешностью (с заданным значением KC) будут отображены свойства природного объекта в числовых значениях заданных параметров отображения (в данном примере n или C), а не эвристические "произведения поисковых смыслов".

Таблица 2.2

Варианты оценки параметров рабочей области

Этап выявления объекта			Этап подсчета запасов		
C , г/т	a , μm	M , г	a , μm	C , г/т (1 г)	C , г/т (50 г)
1	2	3	4	5	6
0.01	0.01	0.000000002	0.01	<0.001	<0.001
0.01	0.1	0.000002	0.1	<0.001	<0.001
0.01	0.5	0.0002	0.5	<0.001	<0.001
0.01	1	0.002	1	<0.001	<0.001
0.01	5	0.2	5	0.002	<0.001
0.01	8	1	8	0.01	<0.001
0.01	10	2	10	0.02	<0.001
0.01	50	238	50	2.4	0.05
0.01	100	1 900	100	19	0.4
0.01	250	29 688	250	297	6
0.01	500	237 500	500	2 375	48
0.01	1 000	1 900 000	1 000	19 000	380
Для $d = 19 \text{ г/см}^3$; $n = 1$; $m = 1$			Для $d = 19 \text{ г/см}^3$; $n = 1$; $m = 1$		

На этапах выявления перспективных площадей и геолого-геохимической локализации потенциальных рудных объектов выполняются работы, требующие достаточно высокой чувствительности (не путать с инструментальной чувствительностью метода химического анализа): для благородных металлов чувствительность может требоваться от миллиграммов на тонну, поскольку концентрации этих элементов выше 0.01 г/т часто оконтуривают вторичные ореолы рассеяния над рудами в коренных породах.

Полезно сориентироваться в масштабах: для одной частицы ($n = 1$) чистого золота ($m = 1$, $d = 19 \text{ г/см}^3$) концентрация 0.01 г/т будет обеспечиваться частицами, размер которых приведен во второй колонке табл. 2.2 в соответствующей навеске с массой, показанной в третьей колонке

таблицы, т. е. для низких концентраций и мелких зерен менее $8\text{ }\mu\text{m}$ массы представительных навесок будут небольшими, и даже в очень небольшой навеске концентрации определятся корректно на том аналитическом аппарате, который обладает соответствующей инструментальной чувствительностью.

Для достижения той же чувствительности 0.01 г/т , но при более крупных зернах массы представительных проб резко возрастают. Это означает, что для относительно крупных частиц сбор проб меньшей массы будет приводить к некорректным (несоизмеримым) результатам, причем тем более некорректным, если в ходе обработки даже представительных проб будут отквартовываться аналитические навески меньшей массы, требующиеся для конкретного аппарата измерения концентраций. Между тем практика работ свидетельствует о том, что вторичные ореолы рассеяния (золота, в частности) содержат не одинаковые по размеру частицы, а достаточно широкий спектр размеров (нано-, микро-, миллиметровый диапазон). Это означает, что при заданном значении чувствительности работ предстоит сделать выбор: в каком аналитическом гранулометрическом классе будут выполняться работы, какие массы представительных проб будут собираться и обрабатываться. Игнорирование этого требования – работа с переменной чувствительностью с близким к нулю коэффициентом соответствия и получение некорректного информационного результата. Рассмотрим типичный случай.

На этапах подсчета запасов или геолого-технологического картирования на выявленных рудных объектах устанавливаются границы рудных тел с вмещающими породами, границы между различными технологическими типами и природными разновидностями руд. В общем случае, положение границ в объемной модели месторождения устанавливается по результатам опробования, запасы металла оцениваются путем перемножения средней концентрации компонента в картируемом подразделении на горную массу этого подразделения. Внешний контур рудного тела ограничен бортовым содержанием, принимаемым с учетом свойств руд, и используемой технологией обогащения (часто для золота 0.5 г/т). А как измеряются граничные концентрации, которые используются для определения положения границ подразделений в объемной модели месторождения и при подсчетах запасов? Сориентироваться в ситуации помогут данные для золота в колонках 4–6 табл. 2.2, которые показывают, что в зависимости от аналитической навески и среднего размера частиц золота в руде фактическая чувствительность будет зна-

чительно различаться (для навески 1 г – колонка 5, для 50 г – колонка 6). Это, в свою очередь, означает, что для зерен менее 10 μm (навеска 1 г) и менее 100 μm (навеска 50 г) положение границы с бортовым содержанием 0.5 г/т может быть определено корректно, но для всех больших размеров зерен золота положение границы неопределенно и не может быть установлено. Ситуация не изменится, если аппарат для выполнения химического анализа будет иметь более низкий порог обнаружения для золота, поскольку ограничение не в аппарате, а в технологии работ: некорректно выбраны граничные значения рабочей области (см. 2.4). Если же рудные частицы имеют размеры меньше указанных ранее, то даже по навеске 1 г положение границ картируемых подразделений будет определяться корректно для заданного размера рабочей области, однако сужение рабочей области может привести к ситуации "картирования через замочную скважину" (см. рис. 4.11): искусственного отсечения значительного объема важной информации.

Следовательно, если неверно будет выбран аналитический гранулометрический класс при фиксированной массе навесок, то работы будут выполняться с переменной чувствительностью для проб с варьирующим размером относительно крупных частиц (в рассматриваемом примере более 100 μm для навески 50 г) со всеми вытекающими негативными последствиями. Закономерный результат работы с переменной чувствительностью (о чем исполнители часто даже не догадываются) – неверно определяется положение границ рудных тел и типов руд, неверно оцениваются запасы рудных компонентов и, как следствие, неверно оцениваются чистые активы предприятий – владельцев месторождений. На более поздних этапах, в процессе эксплуатации месторождений, как правило, возникают новые сложности, поскольку коэффициент извлечения при выбранной схеме обогащения может "непредсказуемо" варьировать в широком диапазоне значений из-за некорректно отображенной структуры типов руд в объеме месторождения.

Приведенные примеры позволяют в общих чертах увидеть важные особенности применения технологий рудного аудита на различных этапах выявления и освоения месторождений. В конкретных случаях граничные значения параметров рабочей области должны рассчитываться более строго. Обращение к технологиям рудного аудита позволит заменить традиционные, но устаревшие подходы и устранить негативные последствия их применения.

3. РУДНЫЙ АУДИТ: ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПАНТЕИЗМА

Область применения технологий рудного аудита имеет много общих уровней и точек пересечения с традиционными областями использования прикладной (поисковой) геохимии. Поэтому имеет смысл обосновать причины, по которым старые подходы прикладной геохимии необходимо оставить в прошлом и начинать использование технологии рудного аудита. Для этого потребуется начать от начала: с фундаментальных основ и уточнить, что именно является объектом изучения геохимии как науки и какой арсенал средств используется в варианте прикладной геохимии. К сожалению, это неизбежно реанимирует околонучную дискуссию между химиками и алхимиками (см. гл. 1).

3.1. Соотношение геохимии и химии

Самый короткий и надежный путь в указанном направлении – привести определения геохимии как науки, сформулированные основателями и классиками. Определение В. И. Вернадского, впоследствии воспроизводившееся в литературе в течение целого столетия с незначительными модификациями: "Геохимия научно изучает химические элементы, т. е. атомы земной коры и, насколько возможно, всей планеты. Она изучает их историю, их распределение и движение в пространстве-времени, их генетические на нашей планете соотношения". Определение А. Е. Ферсмана: "Геохимия изучает историю химических элементов-атомов в земной коре и их поведение при различных термодинамических физико-химических условиях природы". И далее он же: "Такое определение ближе всего примыкает к формулировке, данной академиком В. И. Вернадским еще в 1922 г., в которой он совершенно определенно противопоставлял минералогию геохимии как области исследования судьбы и свойств соединений, т. е. *молекул и кристаллов*" (Ферсман А. Е. Избр. тр. 1955. Т. III, гл. 1).

Обобщим: объект интереса геохимии – история атомов, миграция атомов ("распределение и движение в пространстве-времени"), генетические соотношения атомов на планете, поведение атомов при различных термодинамических условиях. Что же следует из этих определений и к чему это приводит?

История химических элементов-атомов. Химический элемент – это понятие, но речь не идет об истории понятий. История атомов в

земной коре – это возникновение, жизнь (реакция на воздействия), исчезновение, т. е. геохимия как наука поглотила всю физику (как минимум ядерную) и космохимию? Признавая, что атомы когда-то возникли и когда-то исчезнут (а когда и хватит ли геологической истории планеты, чтобы дожидаться этих событий для стабильных изотопов?), остается неясным другое: что следует иметь в виду под "жизнью" атомов – химическую связь (изменение конфигурации электронных оболочек атомов), окисление-восстановление, ионизацию? Но это же химия, превращение веществ вследствие рекомбинации электронных оболочек, или геохимия поглотила уже и химию? Кстати, а чем геохимическая проба отличается от химической? Тем, что с планеты Земля? А проба с Марса (марсохимическая проба) сложена атомами "марсо"-элементов? Если "нет", то части сложных слов "гео" и "марсо" – это наукообразное украшательство, лишенное смысла, а весь смысл заключен в слове "химия". И где же геохимия? Что-то не в порядке в геохимии: эклектика и хаос.

Миграция атомов. Вопрос: "Какие атомы мигрируют в земной коре в виде кинетически независимых частиц"? Нам известны только семь типов атомов, имеющих свойство быть кинетически независимыми. Это атомы инертных газов и пары ртути. А что под миграцией атомов подразумевает геохимия? Может быть, нужно говорить о миграции атомов в виде кинетически независимых частиц, имея в виду диффузию в кристаллах, при которой отдельные атомы перемещаются, используя дефекты кристаллической решетки без образования химической связи. То же будет справедливо и для растворов, в которых ионы (ионизированные атомы) относительно кинетически независимы. Геохимия имеет в виду под миграцией диффузию и броуновское движение частиц? Сомнительно, поскольку речь идет о масштабах земной коры и, "насколько возможно, всей планеты". Во всех природных процессах с учетом масштабов природных явлений, в рамках которых "работает" геология, мигрируют именно вещества (а не кинетически независимые атомы, хотя даже в этом случае они остаются веществами) независимо от их агрегатного состояния: твердые, жидкие, газообразные. Абстрагируясь от действительности и необоснованно приписывая в сознании те свойства атомам, которых нет в природе, можно сказать, что в реке мигрируют атомы водорода. Типичный геохимический подход. Вода течет вниз по склону, направление и скорость течения определяются наличием вещества "вода" и рельефом, но не тем, что в веществе "вода" атомов

водорода в 2 раза больше, чем кислорода, и не величинами ионных радиусов кислорода и водорода. Во всех природных процессах в миграции принимают участие не инертные газы или одноатомные абстракции (концентрационные фантомы), а реальные материальные объекты-вещества, состоящие из молекул, агрегатов молекул, молекулярных комплексов (жидкости, газы) или для твердых веществ – кристаллов или структурно неупорядоченных стекол, фрагментов кристаллов, структурных кластеров, и именно свойствами этих материальных частиц-объектов (механическими, химическими, электрическими, магнитными...) определяется их способность перемещаться в "пространстве-времени". Если геохимия утверждает, что изучает именно атомы (а это, безусловно, так), то худшее уже случилось: она существует в отрыве от материального мира с геологическими масштабами событий и вынужденно оперирует нематериальными понятиями-абстракциями, мысленно заменяя ими природные объекты. Это пример логического несоответствия. С миграцией так же, как и с историей атомов, все неясно, неточно, недосказано, а это в фундаменте "науки" геохимии. Ощущение такое, что с трудом сохраняешь равновесие, балансируя на одиночной болотной кочке, и не знаешь, упадешь в трясину и будешь поглощен болотом или удастся перепрыгнуть на другую кочку и балансировать уже на ней. Вроде бы есть на что опереться, а вроде бы и нет. На фундаменте болотных кочек сконструирована целая наука.

О генетических соотношениях атомов на планете. Соотношения атомов на планете – это масштабы макромира. Ранее уже указано, что в природных процессах мигрируют (рассеиваются, концентрируются, перемещаются) вещества и распределение атомов в макрообъемах определяется законами макромира, влияющими на перераспределение веществ и в конечном счете – на слагающие вещества атомы. Поэтому и генетические соотношения атомов в масштабе планеты в первую очередь определяются перераспределением разнообразных веществ, включая вещества в виде самородных минералов, которые также являются веществами, а не отдельными атомами химических элементов. Пожалуй, единственным исключением из явлений этого ряда можно рассматривать перераспределение некоторых атомов за счет явлений радиоактивного распада: здесь атомы исчезают и рождаются поштучно. Только те элементы (изотопы), которые входят в состав цепочек радиоактивного распада, можно было бы рассматривать с позиций "генетических соотношений атомов на планете", но и эти атомы не "висят" в пространстве-времени, а входят в со-

став физических тел, веществ и перемещаются вместе с веществами. С макромасштабами успешно оперируют такие разделы геологии, как петрология и минералогия, т. е. задействован не элементный, а фазовый уровень. Попутно важно подчеркнуть, что только фазовый уровень (в отличие от элементного) обеспечивает возможность установления причинно-следственных связей между свойствами веществ и условиями (механическими, тепловыми, химическими, электромагнитными) их возникновения и преобразования и в этом контексте какая-либо роль геохимии в подобных реконструкциях не очевидна: одна статистика и никаких функциональных зависимостей. (На самом деле, отрицание фазового уровня для реконструкций – это будет downgrade по отношению к петрологии и минералогии.)

С генетическими соотношениями атомов на планете в геохимической парадигме тоже все неясно и эклектично, и только один элемент из декларированного списка основ геохимии вполне корректен и заключен в категории-понятии "соотношение". Выяснение соотношений составляет реальный смысл, область корректного применения и сам предмет геохимии в целом. Единственный параметр, которым оперирует геохимия, – цифры, безразмерные величины, частное от деления одной величины на другую, включая величины концентраций ("концентрация" по определению понятия – это число, часть от целого). Никакого генетического смысла в получении и манипулировании числами-отношениями нет. Графики хондрит- или MORB-нормализации (поэлементные деления одних концентраций на другие) для двух геологических комплексов могут быть схожими или различаться, но никакого генетического смысла в графиках нет. Чтобы выполнить генетическую интерпретацию причин сходства или различия двух комплексов, придется оторваться от листа бумаги с изображением графика и обратиться к материальным объектам, т. е. выйти на фазовый уровень, на котором станет возможным реконструировать состав и условия формирования комплексов и сформулировать генетические выводы. Только после выполнения генетических реконструкций на фазовом уровне можно работать с графиками и оперировать числами-отношениями: сами числа-отношения не предоставляют такой возможности.

О поведении элементов-атомов при различных термодинамических условиях. Если вспомнить термодинамику и для какой-либо системы записать уравнение состояния, например энергию системы, как это сделал Дж. В. Гиббс, то удивленный геохимик обнаружит, что величины меха-

нической, тепловой и химической энергий имеют смысл, только если речь идет о веществах, но не об атомах (и это в законченном виде известно с 1876 г. после публикации статьи Дж. В. Гиббса "О равновесии гетерогенных веществ"). Где же "пересекаются" термодинамика именно с атомами в геологических процессах? В геологических процессах в разных термодинамических условиях происходит превращение веществ: графит – алмаз, пар – жидкость, плавление – кристаллизация, последовательная активация химических реакций между исходными веществами и веществами продуктов реакций зависимо от температуры и давления. При всех упомянутых превращениях атомы, их свойства и соотношения не изменяются. Так как же атомы связаны с термодинамикой? Опять что-то неясно, неточно, эклектично.

Так что это такое: "геохимия"? Это набор высказываний и деклараций о ментальных образах, ментальные манипуляции с ментальными образами с использованием образов ментальных процессов (история атомов, миграция атомов, поведение атомов, генетические соотношения...). Никакой связи с веществами материального мира и их физическими и химическими свойствами: рафинированный пантеизм.

Область существования и корректного применения геохимии во всех ее вариантах гораздо меньше, чем принято считать, ссылаясь на классиков. Геохимия, и тем более прикладная геохимия, коллапсирует до области применения численных соотношений химических элементов, и эта область не имеет никакого отношения к атомам как материальным частицам. К концентрациям (числам, ментальным понятиям) – да, имеет, но к атомам – нет. Этот врожденный порок геохимии заставляет выйти из геохимической парадигмы и перейти к идеологии создания аутентичных информационных реплик природных объектов с применением технологий рудного аудита. К этому тоже придется привыкнуть и чем раньше – тем лучше.

Как долгожданный поток чистого свежего утреннего воздуха, читается у В. А. Жарикова: "Геохимия – наука, которая изучает химический состав вещества Земли, распространение, распределение химических элементов (и их изотопов) в веществе Земли, физико-химические процессы формирования вещества Земли с целью установления его генезиса и выявления условий, причин и признаков концентрации и рассеяния элементов" (Основы физической геохимии. М., 2005. С. 12). Все на своих местах, земной поклон Вам, Вилен Андреевич, от благодарных по-

томков! (Любопытно отметить, что по отношению к веществам неискusstvenного происхождения это определение полностью может быть распространено и на науку "химия" без приставки "гео".) На этой основе можно начинать движение в будущее и конструировать технологии рудного аудита.

Неясности, неточности, недосказанности в фундаментальных основах геохимии порождают ожидаемые следствия: происходит отрыв от материальных объектов, существующих в природе, и неоправданный логикой переход на уровень абстрактных понятий. Это религиозное пантеистическое мировоззрение, которое должно использоваться практически в предназначенных для этого местах (церквях), но не на поисковых площадях и не на рудных объектах. Именно это вызывает необходимость перейти к технологиям рудного аудита и оставить геохимический пантеизм в прошлом.

3.2. От пантеизма к рудному аудиту

Первый шаг для практического перехода к созданию информационных реплик природных объектов вместо манипуляций с цифрами – это работа не с ментальными абстракциями, скрытыми за цифрами отношений концентраций, а корректный анализ веществ, их ассоциаций и парагенезисов, которые обеспечивают соответствие между природным объектом и нашими представлениями о нем. Для этого в рамках главы предусмотрены два отдельных тематических раздела (3.1 и 3.2) с теми данными о веществах, которые геохимическая поисковая парадигма практически полностью игнорирует, не имея на то никаких оснований для достижения тех целей, которые геохимия декларирует.

В традиционном исполнении геохимические поиски и локализация рудных объектов проводятся путем выявления аномальных значений концентраций химических элементов в пробах рыхлых отложений (вторичные ореолы рассеяния), а также в горных породах, вмещающих рудную минерализацию (первичные ореолы рассеяния). Для установления ореолов осуществляется сбор проб и последующее определение концентраций химических элементов.

С позиций рудного аудита традиционные процедуры обнаружения и оценки геохимических аномалий по концентрациям кроме информации продуцируют не меньшую долю дезинформации о рудном объекте, поскольку применяемые методики геохимических работ не имеют должного теоретического и технологического обоснования (см. гл. 2) и

не представляют в качестве результатов корректные аналитические данные, генерируя случайные числа-концентрации. Эти методики оперируют исключительно концентрациями химических элементов (частями от целого, числами), они декларативны по сути и не подразумевают наличия измерительных моделей, связывающих числа с измеряемыми свойствами материальных объектов (см. 2.3 и 2.4). Не имея метрологического базиса, инструкции геохимических поисков превращаются в декларативные догматические тексты вне времени и пространства. Практика показывает: то, что в традиционной поисковой геохимии неосознанно (по умолчанию) используется в качестве измерительной модели, является такой абстракцией, которая не содержит никаких аналогий и оснований, по которым эта модель может быть соотнесена с материальными, существующими в природе объектами измерений. И как же следует классифицировать мировоззренческую концепцию, которая оперирует нематериальными понятиями (числа-концентрации) без связи со свойствами материальных объектов и декларативными текстами вне времени и пространства? Такая концепция классифицируется как религия. В варианте поисковой геохимии – одна из разновидностей пантеизма, в которой используется измерительная модель типа "чудо". Геохимия как одна из религий имеет полное право на существование и уважительное отношение к себе, но нельзя допускать финансирования религии из бюджетных средств (Конституция РФ запрещает и "Роснедра" не следует забывать это): геохимия как и другие религии должна существовать на пожертвования верующих и членские взносы прихожан. Нецелесообразно также на основании религиозных догм пытаться выявлять рудные объекты. Материальное – это область приложения научных, но не религиозных концепций.

Позитивным моментом, греющим душу, может рассматриваться лишь то, что эмпирико-романтический угар пантеизма, наконец, пройдет и поисковая геохимия подобно алхимии уйдет в прошлое, и то, что останется от нее, перейдет подобно химии на уровень научного знания.

Религиозная ментальность геохимических поисков подчеркивается тем, что измеряемые концентрации химических элементов в пробах не связываются с веществами, образующими материал пробы. По представлениям геохимиков, концентрации в каком-то фантомном виде "химических элементов" просто существуют в пробах и совершенно неважно, какими процедурами эти фантомы могут быть измерены. Между

тем полезно напомнить апологетам геохимических поисков, что в пробах пород и руд присутствуют именно и только вещества, содержащие химические элементы (в том числе рудные), а не фантомы-концентрации и что измерение концентраций веществ – это только установление численных соотношений между элементами. Числа-соотношения – это описательные элементы некоторых свойств, но они не определяют самих материальных свойств, например, число символов в машинописной странице не вскрывает смысла приведенного текста. Вещества, в отличие от соотношений-концентраций, имеют размер, физические и химические свойства. Поэтому попытки выполнения каких-либо измерений без учета свойств фазового уровня в измеряемом материале проб – это дань религиозной догматике.

Технологии рудного аудита меняют всю идеологию и цели традиционных геохимических поисковых работ: от бесконечных "поисков" осуществляется переход к "измерениям информации", необходимой для выявления рудных объектов, и если возникает вопрос: "А как выполнять измерения?", то выбран правильный путь.

Смена поисковой парадигмы уже происходит: взамен религиозным ритуалам (геохимическим поискам) приходят технологии получения информационных реплик рудных объектов, и эта активность никаких аналогий с "геохимическими поисками" не предполагает. Главное отличие новых подходов заключается в том, что "поиски" как логический элемент в технологиях выявления рудных объектов уже не производятся (т. е. отсутствуют поиски-действия без измерительной модели по заранее предписанной схеме-инструкции) и заменены созданием конкретных информационных продуктов на каждом этапе исполнения работ по соответствующим технологиям, и эти продукты создаются на метрологической основе.

Чтобы показать, что "измерения" в отсутствие измерительной модели генерируют случайные числа и насколько существенно это отражается в информационных репликах (отчетных документах), следует привести практический пример. Пример, который будет приведен, – не самый эффектный, но он хорош тем, что многократно опубликован, обсуждался с коллегами в различных профессиональных коллективах и на III Всероссийской конференции по прикладной геохимии (Москва, 2010), и, что важно, все практические работы были выполнены самими

организациями-авторами разных поисковых геохимических методик на одном профиле одного золоторудного объекта.

На рис. 3.1 приведены данные, полученные на участке "Аномальный" (Полярный Урал, 2009). По профилю 113, пересекающему золотоносную рудную зону в коренных породах, установленную бурением, при поверхностном профильном опробовании (глубина 0.5...0.8 м) рыхлых отложений с выдержанной мощностью 10 м с шагом 50 м были отобраны пробы (21 проба), каждая из которых независимо обрабатывалась по различным методикам, включавшим полевую и лабораторную пробоподготовку и соответствующее химико-аналитическое завершение. Полученные результаты коллегиально критически осмысливались, и данные по некоторым из методик исключались из дальнейшего анализа. К примеру, результаты, полученные по методикам ПКСА (полуколичественного спектрального анализа), а также методики с атомно-абсорбционным инструментальным завершением и методики кислотных вытяжек, предписанные инструкцией Мингео СССР (1983), продуцировали значения концентраций на уровне порогов обнаружения. Результаты по трем методикам – МАСФ (ВСЕГЕИ, 2005), "модифицированная классика" по инструкции 1983 г. с завершением ICP MS и результаты, полученные в соответствии с требованиями метрологии CROCS-технологии (©NATI Research, Finland), – имело смысл анализировать далее. (Адаптированный для России сокращенный вариант CROCS-технологии был предложен ЗАО "НАТИ" и известен как "технология ОСРК" – технология отображения структур рудных компонентов.)

Полученные данные позволяют сформулировать много частных выводов, например, что по отношению к МАСФ и ОСРК у ICP MS значения концентраций на 1–2 порядка выше, что технология ОСРК наиболее точно отразила положение рудной зоны, подтвержденное бурением, методика МАСФ, вопреки уверениям авторов, наименее чувствительна к рудным объектам при мощности перекрывающих рыхлых отложений 10 м, хотя методика рекомендована авторами как наиболее эффективная на площадях, перекрытых рыхлыми отложениями. Интересен также частный вывод, что в ОСРК минимальны аналитические "шумы" и надежно определяются надфоновые концентрации.

Каждая из методик выявила геохимические аномалии, причем все они различной амплитуды и расположены в разных частях профиля, не имеют корреляции с рудами в коренном залегании (кроме ОСРК), что

является великолепной и убедительной иллюстрацией того, что геохимические карты в традиционном исполнении являются художественными образами авторов методик, но не документами для выявления рудных объектов в коренных породах. Все эти частные выводы интересны и заслуживают внимания, но в контексте раскрываемой темы они второстепенные.

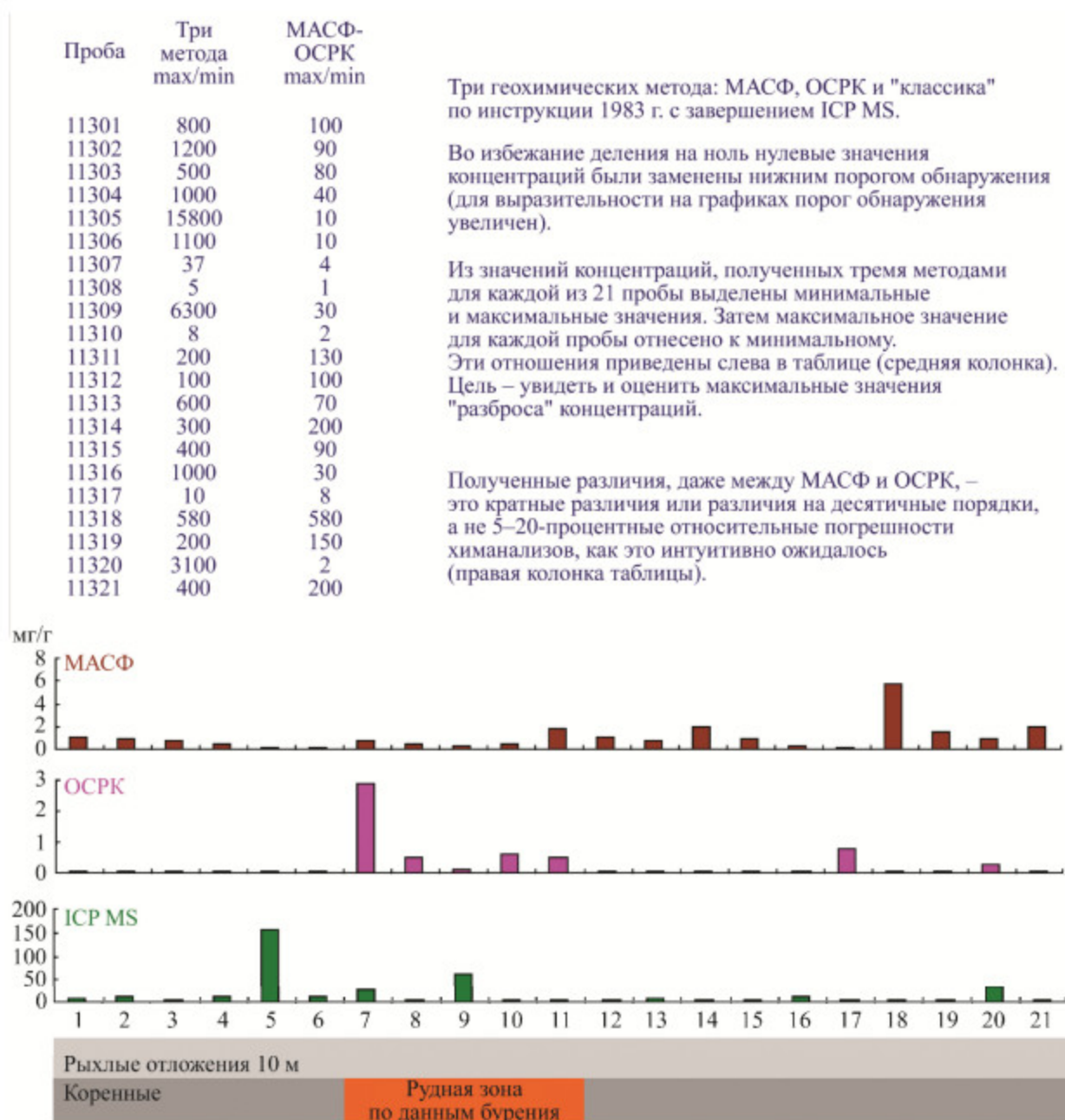


Рис. 3.1. Сравнение данных, полученных по различным методикам на профиле 113 участка "Аномальный" (Полярный Урал)

Проанализируем главное, несмотря на то что именно главное не привлекло внимание участников конференции. Концентрации золота, полученные по этим трем методикам, для каждой из проб (точек отбора

проб) существенно различаются. В таблице на рис. 3.1 приведены отношения максимального значения концентрации к минимальному, выбранные из результатов, полученных по трем методикам для каждой пробы (средний столбец), в столбце справа – выбранные из значений только по МАСФ и ОСРК, как в целом наиболее близким по величине.

Чем может быть обусловлено различие значений концентраций на десятичные порядки почти в каждой точке опробования? Погрешностями химического анализа это не объясняется: современные аналитические методики и инструменты все-таки имеют свою инструментальную метрологию и способы контроля качества и даже вблизи порогов обнаружения элементов метрология инструментария часто бывает вполне терпимой. Это означает, что *зафиксирован объективный факт, требующий объяснения*, что имеет уже прямое отношение к рассматриваемой теме, но именно этот "пустяк" не привлек внимания геохимического сообщества и госчиновников на конференции. Рассмотрим выявленный факт с двух сторон.

1. Ранее неоднократно говорилось, что в отсутствие измерительной модели после "измерений" генерируются случайные числа. Вот, как раз их-то мы и увидели на реальном примере и ужаснулись диапазону разброса случайных чисел: это десятичные порядки величин! Другим не объяснить: не выходя за логику измерений, нельзя делать вывод, что "методики МАСФ и ICP не работают", а "методика ОСРК работает", принимая за критерий истинности совпадение ОСРК-аномалии с положением рудной зоны. Наличие рудной зоны как аргумент – за пределами логики измерений, и нет причин отвергать попытку объяснить причину совпадения каким-либо сочетанием неизвестных случайных факторов (читай "за рамками измерительной модели"). Но и такое объяснение не годится: рудная зона могла бы и отсутствовать, а разброс значений концентраций на порядки никуда не исчезает, и именно это требует объяснения. (Забегая вперед: CROCS обосновывает измерительную модель, не генерирует случайные числа и поставяет достоверные данные, поэтому совпадение CROCS-аномалии с положением рудной зоны неслучайно, но для двух других методик – вывод прямо противоположный.) Причина разброса значений концентраций – это некорректные измерения, причем ошибки возникают до момента химико-аналитических (инструментальных) процедур, хотя для поисковиков именно аналитика по установившейся практике является "козлом отпу-

щения" (здесь более уместна аналогия с поговоркой об обвинении зеркала в неправильном отображении собственного лица). Амплитуда разброса столь значительна, что необходимо найти и устранить причины разброса значений, если думать именно о повышении эффективности выявления рудных объектов.

2. Может быть, это и неважно, что значения концентраций, полученные по трем методикам, различаются на порядки: в методиках присутствуют систематические ошибки, они еще не определены и проблем как бы нет? Факты опровергают это. При сравнении значений концентраций в разных пробах (точках отбора проб), полученных по трем разным методикам, изменение значений происходит некоррелировано и непропорционально, что исключает возможность объяснения несовпадений сочетаниями систематических погрешностей каждой из методик. Это же иллюстрируют графики на рис. 3.1: количество, конфигурация и расположение аномалий на профиле, полученных тремя независимыми методами, разные. Где правда и каков критерий правды? Совпадение или несовпадение аномалий с положением рудной зоны ситуации не меняет: количество, контрастность, конфигурация и положение аномалий на профиле различны. Отсюда следует фатальный для прикладной геохимии вывод: на геохимических картах изображаются художественные образы (авторские впечатления или иллюзии), а не реальные свойства природных объектов. (Что еще ожидать от случайных чисел? Геохимическая карта – это образ, картина, квадрат Малевича, но карта мне больше нравится, она разноцветная, а по смыслу то же: что хочу, то и увижу.)

Изложенное может подтвердить еще одна иллюстрация с того же участка "Аномальный" (рис. 3.2). Это схема геохимического опробования участка, на которую вынесены границы двух субмеридиональных рудных зон (бурение по коренным), полигон опробования с указанием расположения профиля 113 (аналитические данные уже приво-

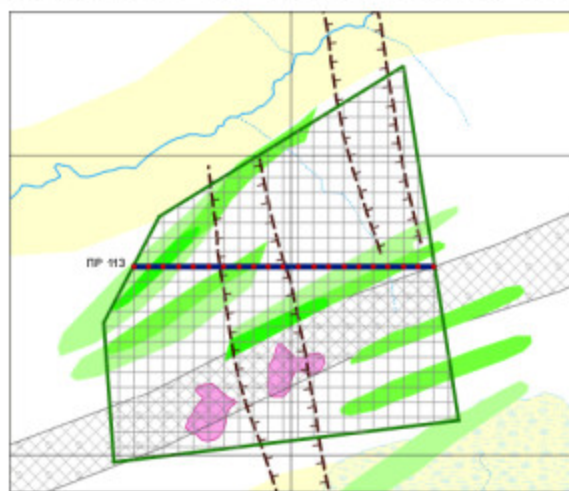


Рис. 3.2. Расположение литохимических аномалий золота (зеленый цвет) и рудных зон в коренных породах по данным бурения, полученным в предшествующие годы. Участок "Аномальный" (Полярный Урал) (с упрощениями по А. Г. Пилицыну)

дились на рис. 3.1), а также показано расположение литохимических аномалий золота (зеленый цвет), полученных в предшествующие годы в ходе геохимических поисковых работ.

Простирание литохимических аномалий почти под прямым углом сечет простирание рудных зон, установленных бурением в коренных породах: не это ли является ясным подтверждением того, что традиционные подходы не отражают реальные свойства объекта поисков и на картах изображаются иллюзии? При этом не следует впадать в крайности в поисках "крайнего": исполнителей поисковых работ винить нельзя – не работает давно устаревшая парадигма.

В общем случае, наличие или отсутствие рудных зон – не критерий истины (об этом уже говорилось), а из этого следует, что традиция отработки новых методик на "эталонных" объектах – страусиная политика: надо учиться проводить корректные измерения на любом участке, а не искать удачу под фонарем, играя в орлянку "совпадет – не совпадет" аномалия с положением рудной зоны. Если при корректно проведенных измерениях (подчеркнем это условие) на "эталонном" объекте выяснится, что положение аномалии не совпадает с положением рудной зоны в коренных породах, то возможно сделать единственный (!) корректный вывод: вещественные признаки рудного объекта не достигают поверхности, с которой осуществляется пробоотбор, и надо будет объяснять причины этого, а не отвергать результаты измерений (если это не псевдоизмерения). Как раз с этих позиций такие случаи важны: именно на таких примерах удобнее всего искать закономерности трансляции вещественной рудной информации в коренных породах в разрез перекрывающих рыхлых отложений. (Подробнее об этом в 3.3.)

Приведенный развернутый анализ практического примера, проиллюстрировавшего проблемы с результатами, полученными при измерениях в отсутствие измерительной модели (участок "Аномальный", см. рис. 3.1 и 3.2), не ответил на вопросы, "повисшие" в воздухе: "Так, должны или не должны совпадать концентрации, полученные по трем независимым методикам в каждой из точек опробования?" И следующий: "Если должны, то в каких случаях должны, а в каких – не должны, и что это за случаи применительно к практике геохимических работ?" С позиций традиционной поисковой геохимии ответы получены быть не могут: в этой парадигме нет теоретического базиса корректных измере-

ний. С позиций технологий рудного аудита ответы тривиальные: при корректном выборе измерительной модели и рабочей области все измерения будут совпадать с точностью до инструментальной погрешности. Эпоха алхимии и пантеизма закончилась, но бюджетные менеджеры этого так и не заметили.

3.3. Фазовые формы веществ в рыхлых осадках

Ранее упоминалось, что уход от пантеизма геохимических поисков выразится в осознании необходимости работы с реальными веществами, а не с геохимическими декларациями и ментальными конструкциями из концентрационных фантомов. Создание информационных реплик на этапах поиска и локализации потенциальных рудных объектов по вторичным ореолам рассеяния требует ясного представления о типах фазовых форм рудных компонентов на поисковой площади, что необходимо для достоверного отображения структур распределения рудных компонентов и выявления вторичных ореолов рассеяния. Такая необходимость обусловлена наличием двух групп фазовых форм, для которых параметры рабочей области (см. рис. 2.6) могут существенно различаться, что, в свою очередь, приведет к модификации технологии сбора и обработки проб для обеспечения заданного значения КС всего цикла работ.

Эти две основные группы фазовых форм могут быть классифицированы как "терригенная (синонимы: кластическая, обломочная, зерновая)" и "аутигенная". Кроме терминологических эти две формы имеют и генетические различия: фазы зерновой обломочной формы являются продуктами разрушения пород и руд, а фазы аутигенной группы являются новообразованиями в самих рыхлых (слабосцементированных) осадках, хотя в некоторых случаях различить минералы этих групп удастся не всегда и особенно в тонких гранулометрических классах. Забегая вперед заметим, что эти два типа фазовых форм могут формировать различные по генезису вторичные ореолы рассеяния рудных компонентов в рыхлых отложениях (см. рис. 4.1). Различия генезиса терригенной и аутигенной фазовых форм выражены в свойствах этих групп минералов, поэтому параметры измерительной модели должны учитывать эти различия для получения корректных информационных реплик.

Полезно обратить внимание на последнюю фразу. В парадигме традиционной поисковой геохимии приведенная фраза не имеет смысла, поскольку геохимия оперирует только концентрациями, которые (по

мнению геохимиков) присутствуют в пробах в виде иллюзий – концентрационных фантомов, ошибочно называемых ими "химическими элементами", и эти фантомы имеют некий поисковый смысл. Нематериальные понятия-концентрации (числа) не присутствуют в материальных объектах (пробах), в пробах присутствуют и несут поисковый смысл именно вещества, обладающие конкретными физическими и химическими свойствами, включая количественные соотношения между веществами и их элементный химический состав. Если цель какого-либо изучения – это изучение природных явлений или процессов, то не следует забывать, что все превращения (в том числе имеющие поисковый смысл) происходят с веществами (в том числе с самородными минералами), а не с химическими элементами (даже если речь идет о ядерных реакциях). Ортодоксальным геохимикам-пантеистам полезно еще раз критически осмыслить некоторые постулаты классической геохимии (см. 3.1).

Для терригенной фазовой формы поисковое значение очевидно: наличие терригенных зерен рудных минералов в рыхлых осадках может указывать на наличие вторичного ореола рассеяния. Расчет параметров измерительной модели и выбор технологических элементов получения информационной реплики на поисковой площади (см. 2.4) достаточно очевидны и не требуют обсуждения деталей.

В отличие от терригенных фазовых форм поисковый смысл и значение аутигенных форм не столь определенные и в практике традиционных геохимических поисков обычно используются очень слабо фактологически обоснованные определения фазовых форм и ореолов рассеяния, в том числе "солевые", "диффузионные", "вторично закрепленные" (и далее через запятую еще десяток словосочетаний), которым придается какое-то особенное поисковое значение. Более того, придается то значение, которое не имеет никакого отношения к "геохимическим поискам", а именно понятие "глубинности": геохимия как разновидность пантеизма может декларировать любые чудеса (это свойство любой религии), но если речь идет об отображении природных объектов их информационными репликами, то с этих позиций "глубинность" в геохимии – разновидность эзотерики.

Присвоение плохо определенным понятиям (даже не объектам) "научных" терминов никак не характеризует сами объекты, поэтому в

попытке частично заполнить пробелы в геохимической карикатуре мироздания далее в краткой форме будет дано описание того, что может скрываться по этим "терминами".

Аутигенные фазы – это (обычно) мелкие кристаллические частицы, осажденные из поровых вод рыхлых осадков в субаэральных условиях. Единичные частицы склонны образовывать мелкие стяжения и корки на минеральных зернах. Минеральный и химический состав частиц определяется химическим составом поровых вод, который, в свою очередь, определяется составом рыхлых осадков, ландшафтными и климатическими обстановками, характером миграции поровых вод, динамикой их обмена с грунтовыми и атмосферными водами и многими другими факторами. Если поровые воды дренируют рудные объекты, то они обогащаются рудными элементами и транслируют элементный состав в аутигенные фазы после их кристаллизации из растворов. Отложение аутигенных минералов происходит на границах обломочных зерен, в микрообъемах межзернового пространства и порах, что и приводит к цементации зерен и последующей литификации рыхлых осадков.

Справедлив вопрос: "Зачем для получения корректных информационных реплик или, другими словами, по каким причинам для установления структуры распределения рудных компонентов в ореолах рассеяния и для выявления рудных объектов необходимо обращаться к анализу и измерениям фазовых форм и почему недостаточно использовать традиционный концентрационный концептуальный уровень геохимии?" Главных причин две:

1. Установление соизмеримости твердых гетерогенных полифазных объектов (горных пород, или рыхлых не консолидированных, или слабо консолидированных осадков) возможно только на фазовом уровне, и поэтому анализ свойств фаз (размер, состав, растворимость, индивидуализация или агрегатирование, ряды превращений фаз и пр.) и фазовых соотношений становится необходимым как элемент исследовательских или производственных работ. Это означает, что в общем случае традиционные геохимические подходы не обеспечивают получения необходимой информации, что приводит к соответствующим результатам. Как и обычно в геохимической практике, использование терминов, которые могли бы быть соотнесены с фазовым уровнем получения данных, не предполагает их соответствия материальным объектам и формализованным понятиям. Например, "солевые (сорбционно-солевые, вторично

закрепленные, диффузионные, глубинные...) формы": что это, фазы или химические элементы? Какой практически (!) измеряемый и используемый (!) в практике работ параметр позволит заключить, что в этой пробе есть эти самые формы и, если они есть, то какая это часть пробы? Этот параметр – это величина концентраций или размер индивидуальных частиц? Нет никаких оснований к такому утверждению. Никакого критерия, кроме веры в это, кроме факта словесного утверждения не просматривается (религия же). А что же в этом случае измеряется? Что получается – как раз понятно.

2. Наличие в природе ореолов первичного и вторичного рассеяния. Это один из частных случаев-следствий, который обобщен во втором начале термодинамики: в ходе самопроизвольных процессов (например, гипергенных) энтропия системы возрастает. Вещества, присутствующие в рудном объекте, самопроизвольно разрушаются механическими, термальными и химическими процессами и рассеиваются – энтропия возрастает. Перемещение масс в ходе рассеяния, в какой бы форме оно не происходило, осуществляется именно веществами: веществами простого или сложного состава, жидкими, твердыми или газообразными. Атомы химических элементов не независимы и перемещаются только в той мере, в какой перемещаются вещества-носители этих элементов: твердые частицы, жидкости, растворы, газы. Отсюда вывод: формирование ореолов рассеяния – это перераспределение веществ (а не независимых атомов и тем более не фантомов-концентраций химических элементов), и именно поэтому изучение веществ (фазовый уровень) в ореолах рассеяния – единственный путь, обеспечивающий решение прагматических задач. (Попутно отметим, что для твердых веществ "фазовый уровень" выступает в этом контексте почти полным синонимом "минералогии". Верно, но учтем традиции: когда говорим "минералогические поиски", из подкорки возникает промывальщик с лотком на берегу таежной реки, а также бинокляр, пиропы, алмазы, золото, платина. Мы говорим все-таки о другом, и ассоциации должны быть другими.)

Указав две главные причины, вызывающие необходимость выполнения работ с учетом свойств веществ, важно не оставить без внимания замечание: фазовый уровень изучения ни в коем случае не отвергает использования концентраций химических элементов в работах научного или производственного цикла. Более того концентрация – это одна из характеристик свойств и фаз вещества: химического состава (см. (2.2)). Так

уж исторически сложилось, что инструментарий (приборы) измерений концентраций был гораздо проще и доступнее, чем минералогический, и доступность обусловила сначала неоправданное уменьшение значения данных фазового уровня, а затем придала гипертрофированное значение концентрационным данным и даже "по инерции" наделила их теми преимуществами, которыми они не обладают. Но, как уже отмечалось, только концентрационный уровень недостаточен для определения соизмеримости объектов и, как следствие, не может обеспечить получение корректных результатов измерений в виде информационных реплик со всеми вытекающими последствиями.

3.4. Литификация осадков: терригенные и аутигенные фазы

Логика изложения привела к тому, что далее необходимо конкретизировать объект измерения, переходя от принципов измерений к рассмотрению специфики самих объектов измерения: рыхлых осадков или слаболитифицированных осадочных образований (включая коры выветривания), в которых необходимо выявлять (реконструировать) вещественные признаки рудных объектов в коренных породах или признаки самих горных пород (комплексов, массивов, стратифицированных толщ и других картируемых подразделений), если речь идет о геологической съемке.

Геологическим обстановкам и условиям формирования осадков, пластов, горизонтов и толщ, изучению минералогического, химического состава осадков, механическим и химическим превращениям в осадках при их литификации, а также "обратным" по отношению к литификации процессам эрозии и химического выветривания с образованием коры выветривания, процессам гравитационного механического перемешивания и перемещения осадков, в том числе в условиях мерзлоты, посвящена обширная литература, авторами которой являются признанные классики: Н. М. Страхов, Н. С. Шатский, М. С. Швецов, Н. Б. Вассоевич, Л. В. Пустовалов, И. И. Гинзбург, Л. Б. Рухин, Н. В. Логвиненко, А. Г. Косовская, В. Н. Шванов, В. М. Питулько и мн. др., принимая во внимание, что вопросам литогенеза и постдиагенетическим преобразованиям осадочных пород посвящен очень значительный список исследований. В работах этих и других исследователей есть элементы того, что непосредственно касается достаточно узкой темы изложения: изучения фазовых форм для обоснования измерительной модели, поэтому правильное уклонимся от освещения предмета, излагая суть в виде цитат и ссылок на литературные

источники, поскольку предмет должен анализироваться в достаточно узком смысловом коридоре и с использованием современных аналитических возможностей.

При установлении структур распределения компонентов (рудных и нерудных) во вторичных ореолах рассеяния исследуются пробы рыхлых нелитифицированных или слаболитифицированных осадков, сформированных преимущественно в субаэральных условиях. По Л. Б. Рухину, такие отложения находятся на стадиях литификации интервала сингенез–диагенез (по Н. М. Страхову, это седиментогенез–диагенез), для которых характерны специфические процессы и минеральные превращения как обломочной (терригенной) части отложений, так и тонкодисперсной (часто называемой "глинистой") матрицы, которая также может быть терригенного (обломочного, седиментогенного) генезиса. Матрица в современных терминах – это наноразмерные частицы и не только глинистых минералов: $10...1000\text{ nm} = 0.01...1\text{ }\mu\text{m}$. Классификация размерных границ обломочной (терригенной) части у авторов различна, с чем связаны различные варианты трактовки типов процессов, протекающих в тонкой матрице рыхлых отложений, и их генетическая интерпретация. Независимо от трактовки, основу тонкозернистой матрицы представляет механически переизмельченный терригенный материал с наноразмерными аутигенными минералами, образовавшимися *in situ*, вследствие кристаллизации из растворов и коллоидных образований из изначально обводненных пор (межзернового пространства) при уплотнении (сокращении пористости) и обезвоживании осадков.

Фазовые события и понимание различных возможных сценариев вещественных превращений на стадиях сингенеза–диагенеза для исследуемой авторами темы как раз очень важны, поскольку именно на этих стадиях происходит закрепление поисковой информации в различных твердых фазовых формах (аутигенных минералах), причем это относится как к обломочной части, так и к матрице, независимо от точного значения размерной границы между ними. Ранее упоминалось, что технологии рудного аудита в ее метрологической части – это выбор поисковых параметров и установление граничных значений параметров рабочей области, поэтому качество итоговых результатов во многом зависит от качества такого выбора, а он в свою очередь от того, насколько хорошо понимается седиментологическая история на поисковой площади, в частности, каковы соотношения обломочной части и аутигенных минералов в рыхлых отложениях, из которых отбираются пробы.

Для изучения соотношений обломочной части и аутигенных минералов из наших коллекций были выбраны шестнадцать типовых проб (в том числе пробы из "глеевого горизонта"), которые после ультразвукового диспергирования и просмотра проб под биноклем и на электронном микроскопе изучены с применением методов растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа. Все исходные пробы содержали тонкий нанометровый материал и алевритистую (или песчанистую) обломочную часть в различных количественных соотношениях от "алевритистых глин" до "алевритистых песков".

Ультразвуковое диспергирование выполнялось для того, чтобы максимально индивидуализировать зерна (включая нанометровые) друг от друга и быть уверенными, что агглютинированный материал на обломочных зернах отражает естественные процессы, протекавшие на этапе сингенез–диагенез, а не искусственные условия (например, цементацию-уплотнение при хранении влажных проб даже в герметичных полиэтиленовых пакетах в отрыве от естественной среды). Ультразвуковая диспергация в воде отделяет и удаляет в нее даже тонкие терригенные нанометровые частицы с поверхности обломочных зерен, если наночастицы или их агрегаты оседают-закрепляются на поверхности обломочных зерен в качестве механического "наноосадка".

Если же на терригенных зернах остаются аутигенные наноагрегаты (рис. 3.3), то это свидетельствует о наличии химических и кристаллизационных событий в тонкой части проб, т. е. о начинающейся литификации рыхлых отложений из-за частичной кристаллизации твердых тонких частиц из поровых растворов с консервацией рудной поисковой информации в новообразованных аутигенных твердых фазах на поверхности терригенных зерен.

Для крупных зерен обломочной части (от $\sim 0.5 \mu\text{m}$ и более до верхней границы изучаемого гранулометрического класса) диагностика достаточно надежна, по крайней мере, с точностью до минеральных групп (плагиоклаз, амфибол, смектиты) с применением методик рентгеноспектрального микроанализа или даже оптическими методами.

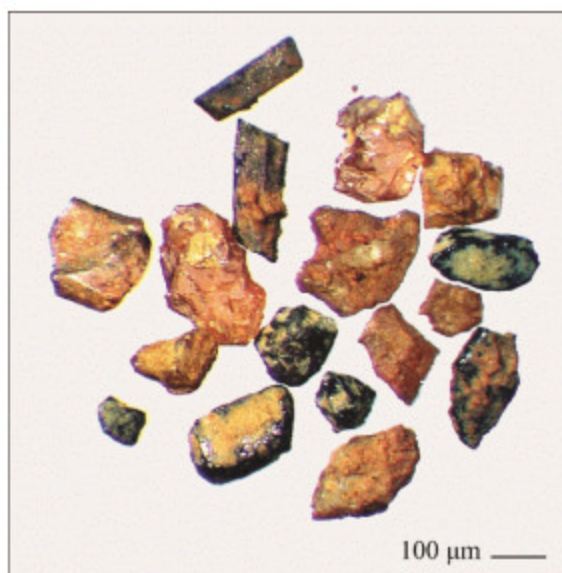


Рис. 3.3. Корки-наноагрегаты на обломочных зернах роговой обманки, граната, циркона, ильменита

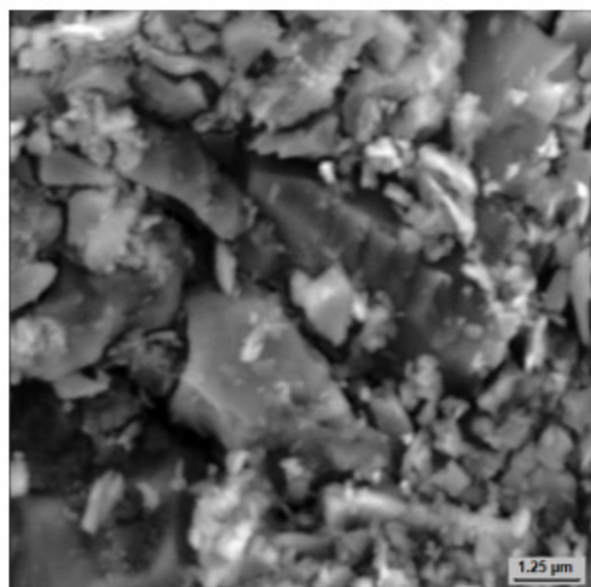
Минеральный состав обломочной части зависит от многих причин (состав эродируемых коренных пород, расстояние транспортировки и др.), и, поскольку обломочная часть несет прямую информацию об эродируемых породах, выявление рудных минералов (или продуктов их химического изменения: псевдоморфозы, вторичные гипергенные минералы) позволяет делать заключение о возможности обнаружения руд в коренных породах. Для части аутигенных фаз рыхлых осадков, которая могла бы быть соотнесена с рудными объектами в коренном залегании, построить такую логическую поисковую цепочку и установить связь аутигенных фаз с рудами в коренном залегании можно лишь с определенной долей вероятности. Далее приведены данные по пробам с краткими выводами и без подробных комментариев.

Зерна, пластинки и агрегаты на рис. 3.4 имеют различную ориентацию, поверхность отдельных пластинок достаточно гладкая.

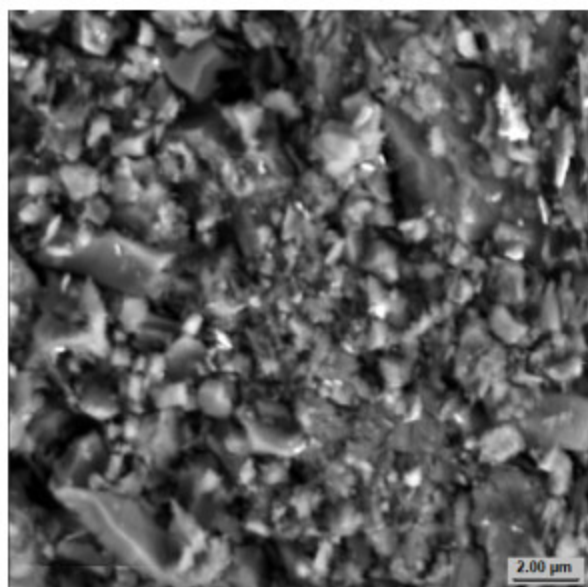
В отдельных случаях удастся получить данные о химическом составе глинистых минералов и классифицировать глинистые частицы как "минералы группы монтмориллонита", но правильнее будет употреблять обобщенное групповое название "смектиты". Морфология и отсутствие сцементированных агрегатов пластинок смектита и их независимость по отношению к более крупным обломочным зернам позволяют предполагать их терригенный генезис и не рассматривать их в качестве аутигенных минералов, т. е. они – один из элементов обломочной части рыхлых осадков.

На рис. 3.5 взаиморасположение глинистых частиц иное: нанозерна "спаяны" и образуют корки на поверхности обломочных зерен, или спаянные нанозерна смектитов образуют обособленные агрегаты (рис. 3.5, а). Такие корки и обособленные агрегаты позволяют рассматривать их в качестве аутигенных новообразований в слаболитифицированных рыхлых осадках.

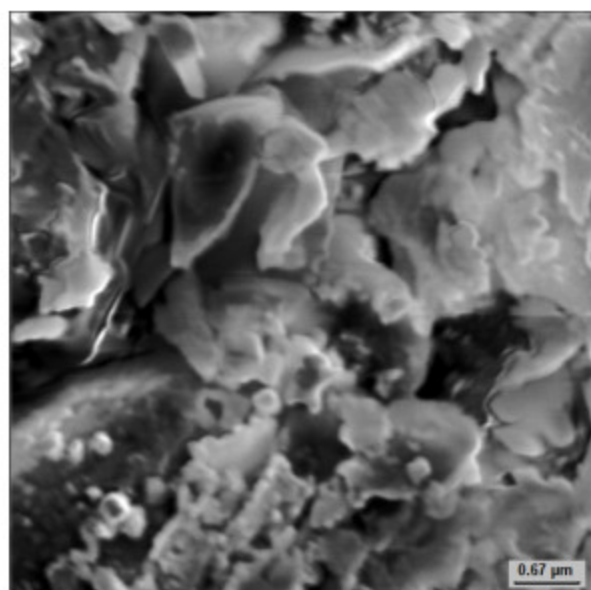
На рис. 3.6 и 3.7 различимы особенности строения смектитовых корок, по которым могут быть реконструированы этапы кристаллизации минералов из поровых вод рыхлых осадков. Смектитовые корки образованы пакетами тонких пластин, торцы пластин имеют фестончатые окончания с узелковыми образованиями на выпуклых участках. Разрастание отдельных пластинок в латеральном и поперечном направлениях приводит к образованию аутигенных корок и цементации терригенных зерен рыхлых осадков, т. е. именно литификация обеспечивает



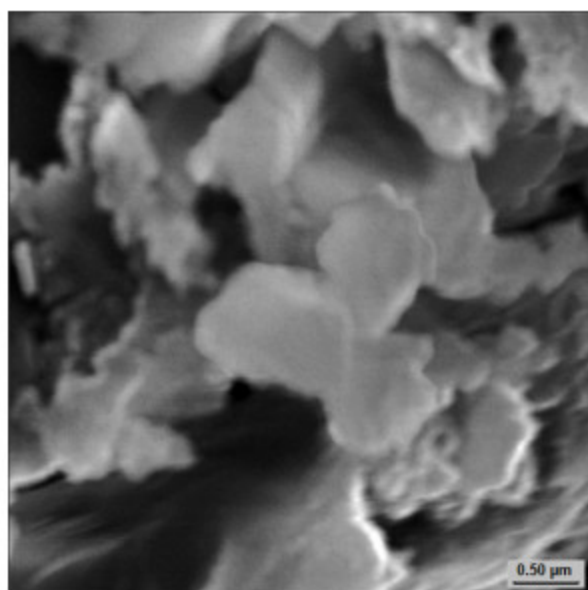
a



б



в

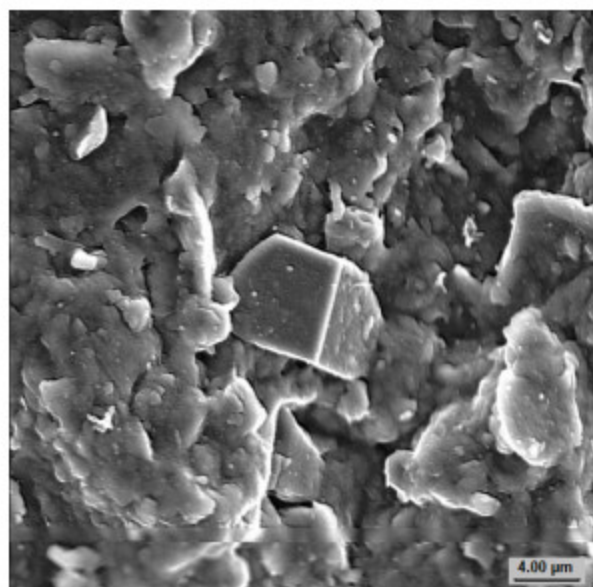


г

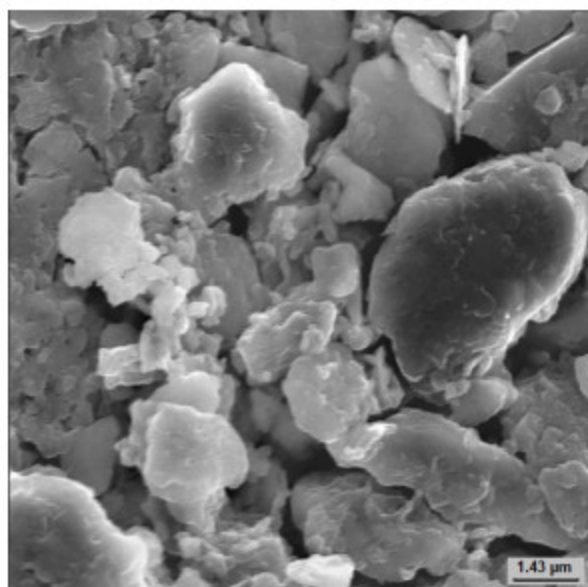
Рис. 3.4. На фото *a* и *б* отчетливо видны отдельные крупные $\sim 0.1 \dots 4 \mu\text{m}$ кластические (терригенные) индивидуальные зерна породообразующих минералов в обломочной части рыхлого осадка (кварца, граната, ильменита). Поверхность кластических зерен – естественные сколы минералов. На кластических зернах лежат мелкие бесформенные хлопьевидные агрегаты глинистых минералов.

На фото *в* и *г* – фрагменты относительно крупных глинистых агрегатов, в которых отдельные пластинчатые частицы имеют размер до $1 \dots 2 \mu\text{m}$. Обособленность отдельных мелких зерен минералов, включая хлопьевидные зерна смектитов, указывает на их терригенную природу.

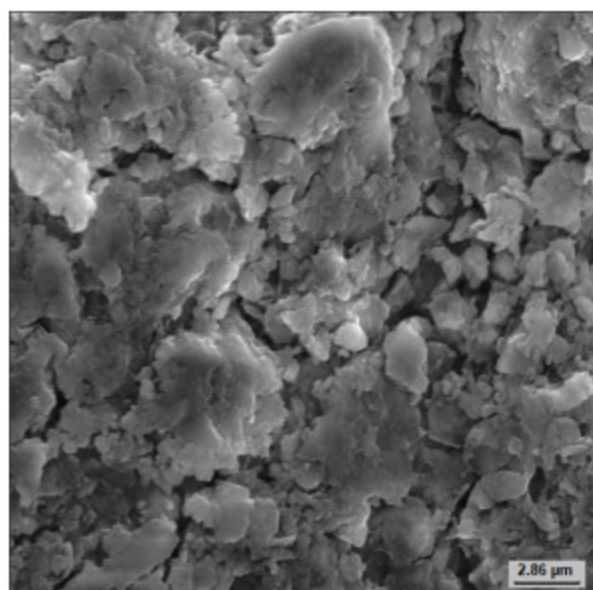
Примечание. Глинистые минералы имеют свойство "разбухать" в зависимости от количества воды в кристаллической решетке и менять параметры элементарной ячейки. Попадая в качестве препарата в вакуум колонны микроскопа и тем более под электронный зонд, который локально разогревает объект, частицы и наноагрегаты размером $n \cdot 10 \dots n \cdot 100 \text{ nm}$ деформируются, смещаются, нарушая слой углеродного напыления, необходимый для стекания заряда с поверхности и выполнения корректных измерений. Эти эффекты ухудшают качество изображений, и требуется много времени и усилий, чтобы получить содержательную информацию приемлемого качества.



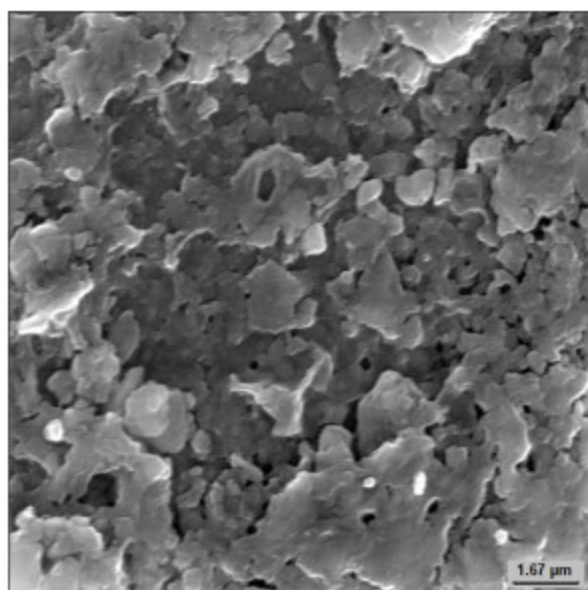
a



б



в



г

Рис. 3.5. На фото *a* – проба FF7, *б-г* – UL41. Все фото пробы UL41 – это изображения корок аутигенных минералов на крупных (50...400 μm) зернах: *б* – амфибола; *в* – циркона 1; *г* – циркона 2. Фото *г* – пластинки смектита, армирующие поверхность крупного зерна циркона. Цирконы интересны тем, что в сравнении с амфиболами, ильменитами, гранатами корки аутигенных минералов на них менее развиты: цирконы – химически более инертная фаза. Пластинки смектита покрывают поверхность зерен. В некоторых случаях толщина слоя агглютинации столь высока, что мелкие (0.5...5 μm) зерна "теряются" в матрице агрегатов смектита. Агрегаты смектита – это монолитные корки, обладающие собственной структурой, в отличие от хлопьевидных агрегатов терригенных смектитов (см. рис. 3.4). Фрагмент корки (~300 μm) на фото *a* не привязан к поверхности более крупного зерна, вероятно, вся корка отделилась от какого-либо обломочного зерна при ультразвуковой дисперсации и обособилась без распада на составляющие части, т. е. это самостоятельная частица-агрегат размером $n \cdot 100$ nm, а не случайно сближенные независимые терригенные нанозерна. В отличие от терригенных смектитов (см. рис. 3.4) здесь есть явные морфологические признаки уже не терригенных, а аутигенных смектитов

Примечание. Область генерации характеристического рентгеновского излучения бывает значительно больше толщины армирующих пластинок смектита, поэтому рентгеновские спектры обломочных частиц могут "просвечивать" сквозь тонкие корки аутигенных фаз и тем самым позволяют осуществлять диагностику терригенных частиц по химическому составу, даже если они покрыты тонкими пластинками смектита.

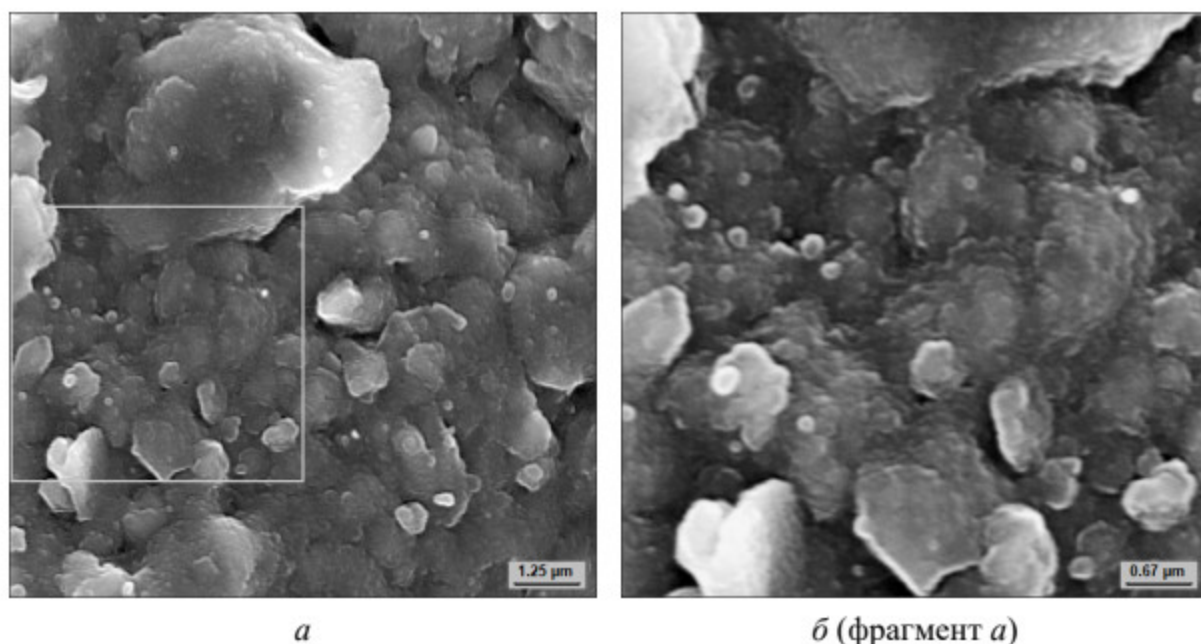


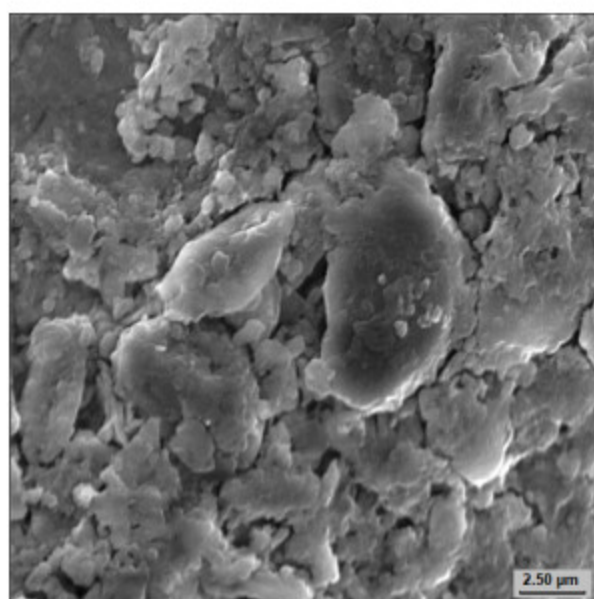
Рис. 3.6. На фото *а* хорошо различимы отдельные крупные обломочные зерна, сцементированные аутигенным смектитом. На фото *б* вполне различимы детали строения смектитовых корок. Видно, что наращивание мощности (если этот термин здесь применим) смектитовой корки происходит путем последовательной кристаллизации смектитовых пластин, причем кроме разрастания корки в направлении, перпендикулярном уплощению, происходит дорастание пластин вдоль уплощения в латеральном направлении: границы отдельных пластин сложно изогнуты (сутурная форма границ) и локальные выступы размером 50...200 nm состоят из стяжений-узелков. Вероятно, узелки – это локальные центры кристаллизации, которые, срастаясь друг с другом, формируют тело смектитовой пластины (это же хорошо видно на фото 3.7, *в*, а также 3.5, *б*). Таким образом, происходит цементация обломочной части: межзерновое пространство обломочной части осадков заполняется кристаллизующимися аутигенными минералами и в вертикальном (перпендикулярно уплощению), и в латеральном направлениях

закрепление химических элементов из поровых растворов в твердых фазах аутигенных корок. В поисковом аспекте важно, что закрепление происходит не в обособленных нанофазах, а в агрегатах нанофаз значительно большего размера.

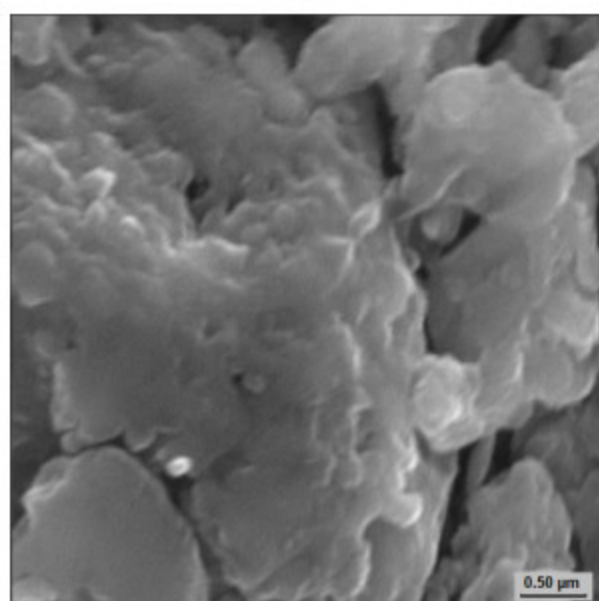
Другое убедительное доказательство масштабных событий при литификации рыхлых осадков читается на рис. 3.8. Отложение аутигенных фаз происходит не только на поверхности терригенных зерен, но и во всем объеме рыхлых осадков, включая поры и межзерновое пространство. Аутигенные минералы отлагаются на любых составляющих



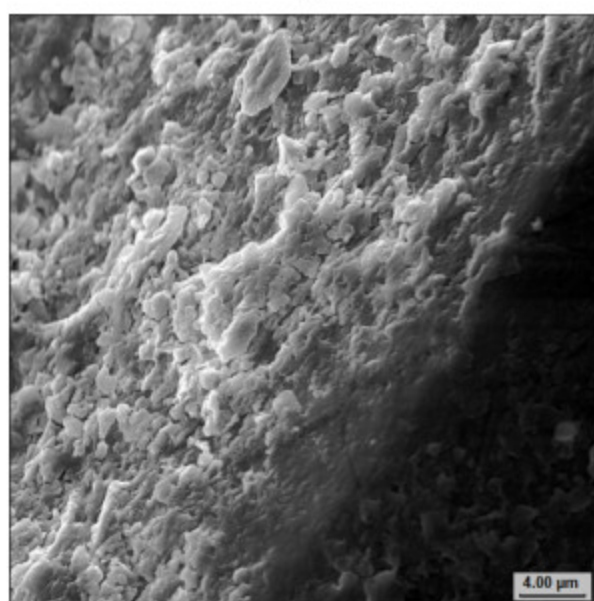
a



б



в



г

Рис. 3.7. Корки аутигенных минералов на обломочном зерне циркона (*a–г*): фрагмент 1, фото *б* – корки образуют аутигенные минералы и полностью поглощенные аутигенными смектитами мелкие терригенные зерна; фрагмент 2, фото *в* – сутурные торцевые границы пластинчатого аутигенного смектита с узелками – центрами кристаллизации размером 50...200 nm; фрагмент 3, фото *г* – разрез корки аутигенного смектита: на относительно "чистую" поверхность грани циркона (темный правый нижний угол фото) агглютинирован плотный тонкокристаллический прослой аутигенного смектита, который выше сменяется более рыхлыми и более крупными агрегатами. Мощность корки – около 8 μm

рыхлых осадков, агглютинируя терригенный материал и замещая минеральными веществами присутствующую в осадках растительную органику.

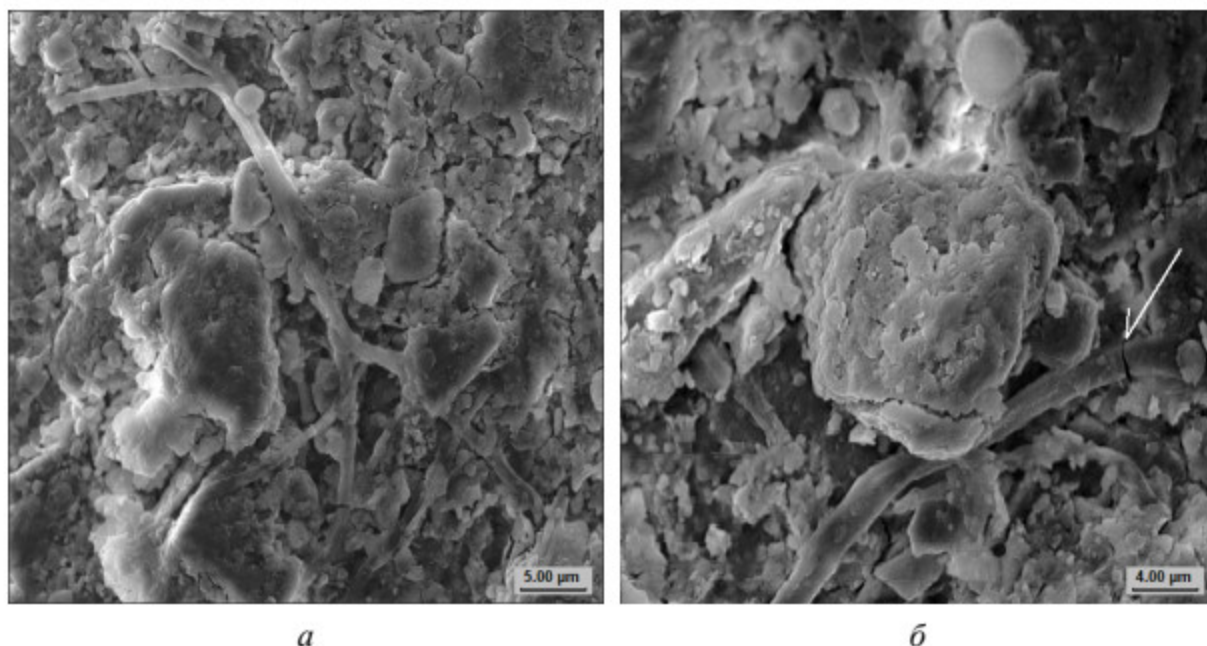


Рис. 3.8. Корка аутигенного смектита со сцементированными мелкими обломочными зернами на кристалле циркона размером около 400 μm (фрагмент 2, рис. 3.7, *а*). Фото *а* и *б* примечательны тем, что кроме аутигенных фаз и агглютинированных мелких обломочных зерен присутствуют растительные остатки, вероятно гифы мицелия грибов. Гифы – это уже не растительная органика, а псевдоморфозы аутигенных твердых фаз по органике, местами сцементированные аутигенным смектитом. Литифицированные гифы местами разорваны (стрелка на фото *б*, но такой же хрупкий разрыв виден на нижней части гифа на фото *а*), обломок-фрагмент гифа с верхним трубчатый концом виден на фото *а* (в верхней части левой верхней четверти фото), т. е. кристаллизация аутигенных фаз и замещение растительной органики твердыми аутигенными фазами свидетельствуют именно о химическом, а не терригенном генезисе нанофаз (напомним, что эти пробы прошли процедуру ультразвукового диспергирования. Агрегаты частиц разного происхождения (обломочная часть, аутигенные минералы, органика) пористые, но частицы, слагающие эти агрегаты, сцементированы)

По данным на рис. 3.4–3.8 следует сделать пояснение относительно масштабирования явлений. Упрощая для наглядности, вспомним, что 50 nm – это около 50 монтмориллонитовых элементарных ячеек, объединенных вместе, это приблизительно 500 атомов, уложенных в ряд. Поэтому, пытаясь связать аутигенные фазы с поисковой информацией, следует понимать, что другое более мелкое материальное "вместилище" поисковой информации трудно подыскать даже теоретически: поисковая информация если и содержится, то не в гипотетических "солевых формах", а во вполне материальных нанофазах аутигенных минералов (или агрегатах нанофаз) – концентраторах рудных компонентов. В этом контексте возникают проблемы с некоторыми рудными компонентами, например, если золото в аутигенных смектитах, то придется предполагать неоправданно большую изоморфную емкость аутигенных фаз для

рудных компонентов: сколько же атомов золота может войти в решетку смектита? Способность к катионному обмену у глинистых минералов велика, но не бесконечно велика, и сможет ли решетка смектита "вместить" все золото, находящееся в аутигенной матрице осадка? Или золото с нулевой валентностью диспергировано до уровня структурных кластеров или наночастиц? Вопросы без ответа на современном уровне знаний. Во всяком случае, обоснование поискового метода (методика МАСФ, ВСЕГЕИ), использующего декларации, что "сверхтонкие фракции" – носители поисковой информации да еще с большой глубины, и при этом подменяя аутигенные и даже гипотетические "солевые" формы "сверхтонкими" фракциями, – это не поисковый, а коммерческий проект: извлечение выгоды на основании деклараций религиозного толка. В науке и материальном производстве разработчики сами обязаны обосновывать и критически осмысливать новые методы, прежде чем начинать их использование, а не заставлять кого-либо еще выполнять их работу "задним числом".

В том же контексте, продолжая, уместно остановиться подробнее на широко распространенном заблуждении, практикующемся при поисковых работах: на применении методик, в основе которых как синонимы используются понятия "сверхтонкие фракции", "нанопракции", "солевые формы", "вторично закрепленные формы", "диффузионные формы", причем в явном или неявном виде декларируется, что эти формы – основные носители именно глубинной поисковой информации в рыхлых осадках, перекрывающих коренные породы с рудной минерализацией.

Конечно, дело не в самих терминах, а в тех псевдосвойствах, которые декларативно приписываются существующим в природе материальным объектам. С "нанопракциями", "сверхтонкими фракциями" – более-менее понятно: это относится к размеру объектов и что размеры можно измерять, но причем же здесь глубинность и поисковая информация и как их измерять? А как быть с измерениями "солевых форм"? Что это за объект или процесс? В седиментологии (литологии осадков и пород) есть общепринятое понятие "аутигенные минералы" – это новообразованные минералы в рыхлых осадках, формирующиеся на стадиях сингенеза–диагенеза. Образуются они в результате сложных процессов при взаимодействии поровых вод и терригенной части осадка. Все это давно описано и известно. Но что же это за фантомные "солевые формы", которые противопоставляются аутигенным фазам в рыхлых осадках? Или это то-

же аутигенные фазы, но какие-то особенные? В чем же их особенность? Можно лишь предполагать и догадываться, что это та часть аутигенных фаз, в состав которых из растворов вошли атомы металлов, которые в качестве ионов попали в поровый раствор и затем поднимались вверх (именно вверх) до глубины пробоотбора через разрез рыхлых отложений и поднимались именно с тех глубин, на которых происходило гипергенное преобразование пород и руд. А какие же материальные признаки "глубинности" и транспортировки, отличающие один тип аутигенных фаз от других ("солевых"), в одних и тех же рыхлых осадках? Эти признаки надо же измерять, чтобы использовать в поисковых целях. Аутигенные минералы разнообразны по составу (глинистые, оксиды-гидроксиды железа, фосфаты, карбонаты, сульфаты, арсенаты, оксиды и др.), причем видовой состав минералов и их соотношения и размеры сильно зависят от локальных условий и могут значительно различаться в разных точках пробоотбора на поисковой площади. Словесная декларация "солевая форма" не предоставляет никаких оснований для определения тех свойств материальных частиц, которые следует измерять: по сложившейся традиции геохимической религии материальные объекты и свойства заменены декларативными понятиями. В геохимии молчаливо предполагается, что таким свойством обладают мелкие зерна: "нанофракции", "сверхтонкие фракции". А почему, ведь никаких оснований к этому нет? Аутигенные минералы и агрегаты бывают и мелкими, и довольно крупными (рис. 3.9).

Прежде всего некорректно само отождествление категорий размерности с источниками вещества в аутигенных фазах. "Нанофазы" и "солевые формы" – не синонимы и не могут сопоставляться ни в прямом, ни в каком-либо переносном смысле. Как показано на рис. 3.3–3.8, аутигенные нанофазы (здесь – это смектиты), кристаллизуясь и разрастаясь в массе рыхлых осадков, увеличиваются в размерах, образуя нано-, микро- и макроагрегаты нанозерен, т. е. в осадках присутствуют обособленные аутигенные агрегаты или корки-стяжения (микроконкреции) разного размера (рис. 3.9), но в осадке отсутствуют отдельные разобщенные аутигенные нанозерена: нанозерна сцементированы в микро- и макроагрегаты аутигенных образований, это и есть зачатки цемента будущих песчаников. (Попутно заметим: разрастание аутигенных фаз приводит к цементации терригенной части рыхлого осадка и превращению осадка в консолидированную породу при развитии диагенетического процесса: это классика, это теория литогенеза.)

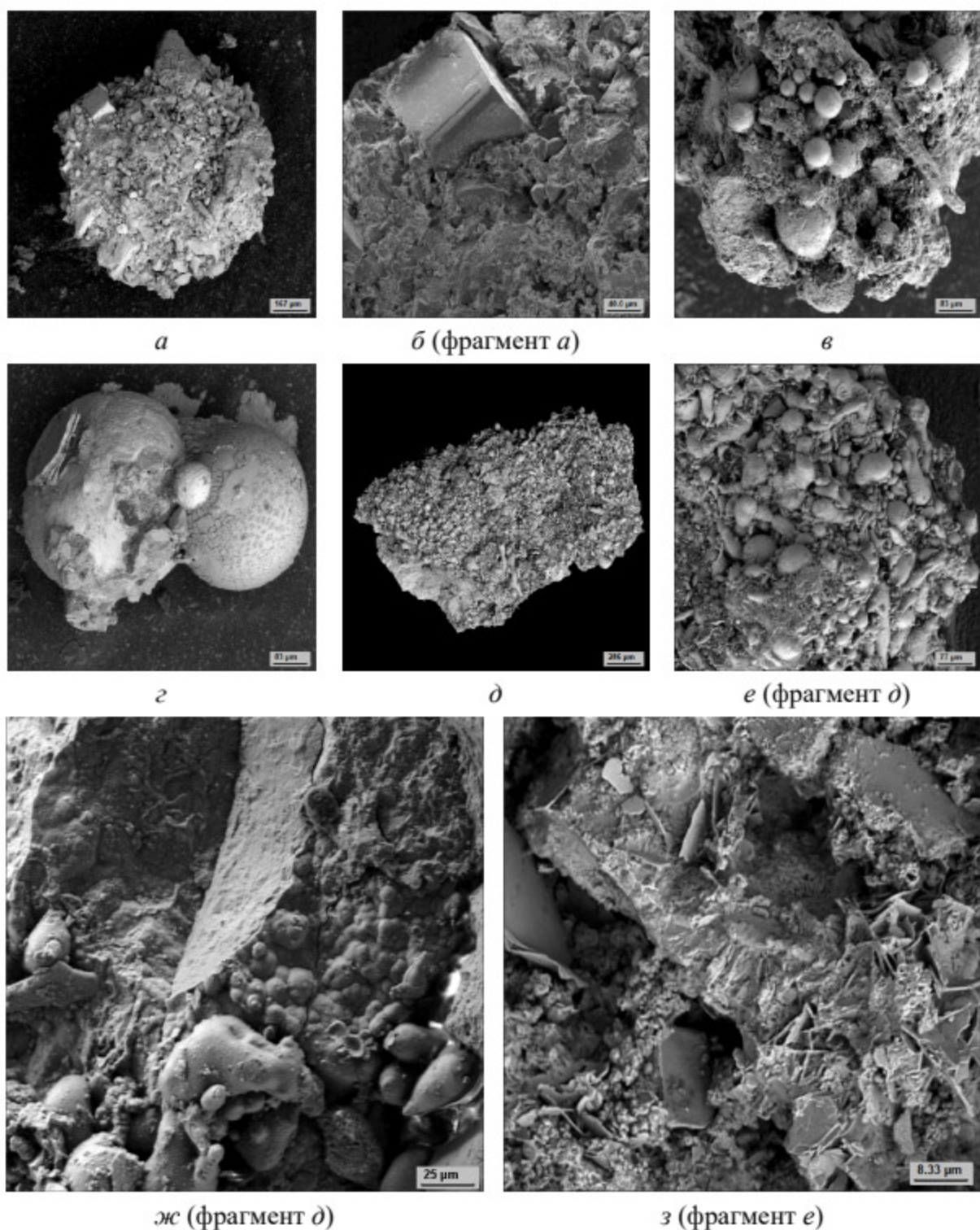


Рис. 3.9. Сцементированные аутигенные агрегаты из торфянистого суглинка (геохимический слой В, глубина 80 см)

Если аутигенные фазы имеют субмикронный размер, то однозначно диагностировать удастся только наиболее крупные из них: существуют физические ограничения даже микрозондовых методов химического анализа и локальность метода часто оказывается недостаточной. Как правило, надежно определять химический состав возможно только полифазных агрегатов наноразмерных частиц, а не отдельных индивидов

нанофаз, причем на качественном уровне. В отдельных пробах среди аутигенных фаз достаточно уверенно определяются глинистые минералы группы смектитов и гидрослюд, сульфаты кальция и бария (гипс, барит), оксиды и гидроксиды железа (вюстит, гетит-лепидокрокит), карбонаты кальция-магния-железа (кальцит-доломит-сидерит). Однако даже эта неполная информация очень важна для поисковых целей. При электронно-зондовых исследованиях агрегатов аутигенных нанофаз в рентгеновских спектрах разных проб эпизодически фиксируются незначительные количества таких химических элементов, как фосфор, сера, мышьяк, углерод (природный), изредка висмут и хлор, которые в комбинациях с оксидами и гидроксидами типичны для элементов анионных групп солей металлов, а также сами металлы: барий, кальций, марганец, железо, никель, медь, цинк, свинец, хром и некоторые другие. Такое сочетание элементов-катионов и анионных групп имеет логическое объяснение: соли этих элементов образуют соединения (аутигенные фазы), не растворимые в воде, что согласуется с данными о растворимости солей в воде, приводимыми во всех химических справочниках.

Аутигенные фазы имеют различный минералогический и химический состав, что зависит от состава осадков и особенностей среды формирования осадков, но всегда это новообразованные кристаллы или кристаллические агрегаты, размер которых может достигать первых сантиметров (см. рис. 3.9, но обычно меньше), и в таком виде они присутствуют в объеме рыхлого осадка. Агрегаты аутигенных нанозерен часто достаточно крупные, поэтому в качестве примера: одна частица 50 μm имеет ту же массу, что 1000 частиц размером 5 μm . Следовательно, гораздо логичнее работать на поисках именно с аутигенными, но относительно крупными образованиями (десятки, сотни микрометров), чем с мелкими индивидуальными наноразмерными, поскольку в химическом составе относительно крупных аутигенных образований заключена гораздо большая часть потенциально информативной поисковой составляющей (масса и концентрация компонентов, в том числе рудных, возрастает пропорционально третьей степени при увеличении линейного размера зерен).

На рис. 3.9 приведены часто встречающиеся микроструктуры агрегатов аутигенных минералов: фото *а*, *д* – крупные (до 2 мм) фрагменты корок-агрегатов; *б* – (фрагмент *а*) аутигенные субмикронные агрегаты смектита, оксидов и гидроксидов железа со сфероидными гупейита (Fe_3Si) цементируют мелкие обломочные зерна; *в* – аутигенный агрегат

субмикронных смектита, лепидокрокита со сфероидными гупейита и вюстита и с органическим детритом; *г* – крупный сфероид аутигенного вюстита с пластинкой лепидокрокита и сфероид гупейита (справа); *е* – (фрагмент *д*) сфероиды гупейита и вюстита; *ж* – (фрагмент *д*) микро-слойки агрегатов субмикронных смектита + оксидов-гидроксидов железа. На поверхности слойков нарастают тонкие корки с почковидными и сфероидными образованиями вюстита и гупейита; *з* – (фрагмент *е*) аутигенные сфероиды вюстита и гупейита цементируются аутигенными пластинками лепидокрокита и агрегатами гипса + барита. *Справка:* гупейит обнаружен в россыпях без сростаний с другими минералами и предполагалось его космическое происхождение. На фото *д*, *е*, *ж* – корки и сфероиды аутигенного гупейита, сформированные в субаэральных условиях.

В контексте поисков важен не столько размер аутигенных фаз, сколько работа именно с аутигенными новообразованиями, поскольку нанозерна – это основная масса глинистой матрицы осадка, в которой аутигенная составляющая может полностью отсутствовать, если сама матрица образована мелкими терригенными минералами. Акцент на наноразмерные фазы – слабый аргумент для утверждения о наличии преимуществ поиска рудных объектов по нанофракциям, а приписывать им псевдосвойства "глубинность" и "поисковый сигнал" – это за пределами логики. Подтверждение этого приведено на рис. 3.1.

Так, на профиле с данными, полученными по методике МАСФ, авторы которой декларируют (снова декларации) преимущества поисков по "сверхтонким фракциям на закрытых территориях", рудная зона в коренных породах не получила никакого отображения при мощности перекрывающих рыхлых осадков 10 м, в то время как технологией ОСРК во всех пробах рыхлых осадков над рудной зоной в коренных породах кроме повышенных концентраций выявлены (выделены и задокументированы под электронным микроскопом) мелкие частицы золота размером 5...40 мкм. Поиски по "сверхтонким фракциям" слабо связаны или совсем не связаны с выявлением именно глубинных поисковых сигналов. В некоторых случаях анализировать субмикронные фракции имеет смысл, но поисковые цели и причины, по которым это следует делать, иные.

При выделении субмикронных фракций из рыхлых осадков происходит изменение общего валового состава пробы и искажаются соотношения между различными группами химических элементов в каждой

выделенной фракции. Рыхлый осадок – это смесь терригенных зерен разного размера: от нанозерен (глинистая размерная составляющая) до алеврито-песчано-гравийной части осадка. Отделение "сверхтонкой фракции" ($< 10 \mu\text{m}$) приводит не только к гранулометрической классификации осадка, но и к сепарации по химическому составу. Так, основу (до 100 %) осадков обычно составляют алевритистые ($> 1...5 \mu\text{m}$) и песчанистые зерна породообразующих и акцессорных минералов (кварц, полевые шпаты, слюды, гранаты, амфиболы, пироксены, ильменит, хромит, шеелит, магнетит, циркон, минералы редких земель, турмалин, ферроплатина, золото, минералы платиноидов и сульфидов меди и никеля, устойчивых в условиях сингенеза, агрегаты аутигенных минералов и др.). Относительно наноразмерных частиц размер зерен этих минералов значительно выше (на 1–2 порядка), а, как уже отмечалось, масса компонентов возрастает пропорционально третьей степени при увеличении линейных размеров зерен, поэтому субмикронные фракции резко обеднены относительно валового состава пробы (в $n \cdot 1000...n \cdot 100\,000$ раз) теми химическими элементами, которые отфильтрованы процедурой гранулометрического разделения при выделении наноразмерных фракций. Конечно, в субмикронной части осадка (пробы) присутствуют те же минералы, но в переизмельченном виде (это видно из рис. 3.9), но присутствует и терригенная глинистая "разбавляющая" субмикронный материал составляющая, которой нет в более крупных размерных классах. Искажение пропорций между химическими элементами относительно исходного состава пробы неизбежно из-за различия физических и химических свойств разных минералов: различные хрупкость (устойчивость к измельчению) и устойчивость минералов к химическому растворению приводят к искажениям пропорций химических элементов. Это хорошо видно из рис. 3.1 (участок "Аномальный", П. Урал): методика МАСФ фактом выделения "сверхтонкой фракции" обрезала (отфильтровала) мелкие частицы золота, а вместе с ними и весь поисковый сигнал с глубины 10 м! (Еще раз: "нанофракции" слабо отражают (если отражают) поисковые сигналы из глубины.)

Как следствие нарушения пропорций между химическими элементами в различных размерных классах осадков (проб) – на итоговой геохимической карте будут отображены не истинные концентрации элементов в точках пробоотбора, а искаженные данные, зависящие от процедур пробоотбора и пробоподготовки. Это приведет к тому, что на разных площадях

геохимических работ могут быть получены несопоставимые данные, если применялись не строго одинаковые процедуры сбора проб и пробоподготовки, что особенно критично для геохимических работ съемочных масштабов. Это одна из причин, по которой ранее уже сделан вывод о том, что региональные базы геохимических данных наполнены информационным мусором. Для поисковых масштабов (локальных поисковых работ) нарушение пропорций также критично, но не столь критично. Однако отметим, что при гранулометрическом фракционировании "плывут" не только пропорции, но и пороги обнаружения химических элементов: удаление из нанофракций даже мелких ($1 - n \cdot 10 \text{ }\mu\text{m}$) частиц, например золота, требует применения высокочувствительных (и дорогостоящих) методов химического анализа (от 0.1 мг/т). Это подтверждается данными на рис. 3.1. Все эти проблемы исчезают, если прекратить осуществлять пантеистические "поиски", а перейти к идеологии создания информационных реплик природных объектов.

О глубинности. Кристаллизация аутигенных минералов (какого бы размера они ни были) – это результат взаимодействия терригенной части осадка с поровой водой, в которой в растворенном виде присутствуют ионы металлов, как и из растворенных терригенных зерен осадка (основная часть аутигенных минералов), но также могут присутствовать (а могут и не присутствовать) и ионы, привнесенные из разрушающихся коренных пород и руд в результате диффузии или транспортировки в потоках фильтрующихся поровых вод. Конечно, аутигенные минералы в том или ином виде могут (но это не является истиной для каждой пробы) ассимилировать металлы из поровых растворов (а была ли такая миграция в каждой точке пробоотбора), но причем же здесь размер аутигенных агрегатов как основание к поискам именно по наноразмерным фазам? Кроме того, категоричное утверждение, что нанофракции (именно нанофракции, а не аутигенные фазы) – носители поисковой информации, поступающей из глубины, – это ложная декларация (см. рис. 3.1, данные МАСФ показали "пусто" над рудной зоной).

Нет сомнений, что аутигенные фазы и агрегаты в рыхлых осадках могут нести в своем химическом составе информацию из подстилающих коренных пород и руд, но для выделения именно той части аутигенных агрегатов, в которой эта информация закрепилась, придется научиться разделять (и проводить инструментальные измерения) одинаковые аутигенные фазы, например агрегаты смектитов (рис. 3.3–3.8) или агрегаты смектита и оксидов-гидроксидов железа (рис. 3.10), на несущие

щие глубинный поисковый сигнал и на агрегаты, не несущие поискового сигнала, т. е. образованные за счет растворения терригенного материала самого рыхлого осадка и переотложения его в виде аутигенных фаз, но эта задача практически невыполнимая.

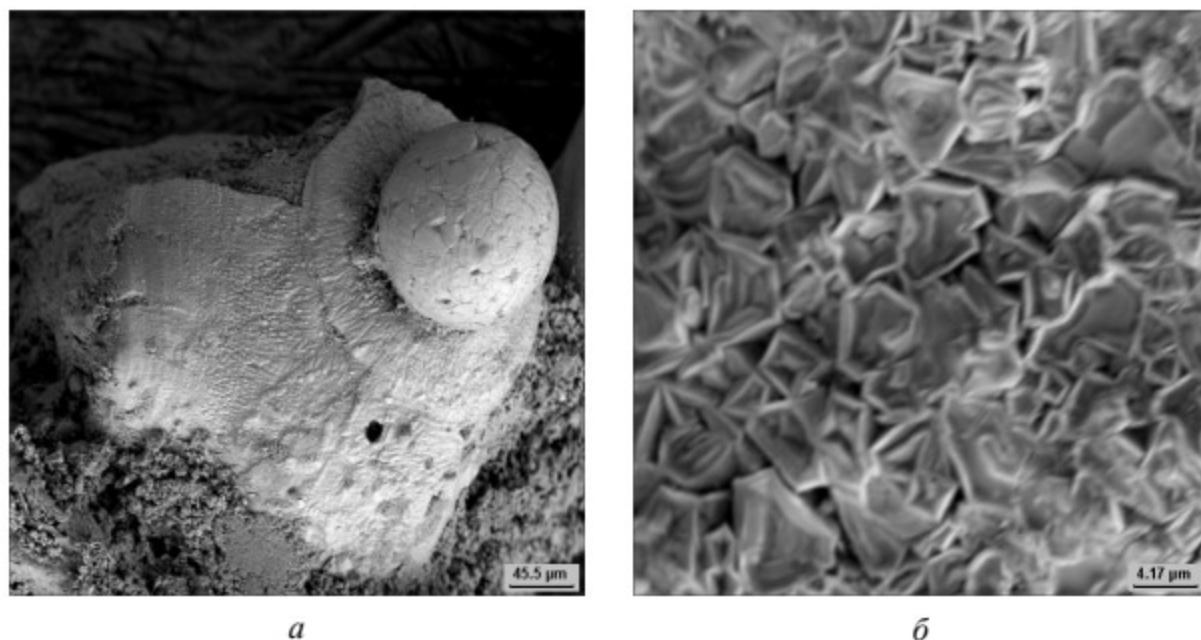


Рис. 3.10. Цементирующие аутигенные агрегаты оксидов-гидроксидов железа торфянистого суглинка (слой В, глубина 80 см): а – корка с радиально-концентрической зональностью и сфероид аутигенных оксидов-гидроксидов железа на поверхности суглинка; б – корка агрегатов лепидокрокита

Как возможно такое разделение аутигенных фаз на "несущие поисковый сигнал" и "не несущие поискового сигнала" и что в них нужно измерять – вопросы без ответа (как измерить понятие "солевая форма" и какую измерительную модель использовать?). Однако сложность задачи не дает никаких оснований, чтобы подменять задачу и вместо выделения аутигенных фаз с "поисковой информацией" выделять нанофракции или фантомные "солевые формы": это передергивание карт в колоде. Априорное декларативное назначение, что все аутигенные агрегаты и фазы всегда несут глубинную поисковую информацию, не имеет должной аргументации. По крайней мере, для таких утверждений нужны доказательства, причем в каждой точке сбора проб. В практической работе доказывать наличие потоков фильтрации из подстилающих коренных пород в каждой точке пробоотбора – задача невыполнимая, и если и выполняемая, то не геохимическими (концентрационными) методами. Если уж и пытаться разделять аутигенные фазы по видовому составу минералов на группы "аутигенные минералы, несущие поисковую информацию из глу-

бины", и на "аутигенные минералы, образованные за счет преобразования терригенных зерен ближайшего окружения, не несущие глубинной информации", то это область детального минералогического анализа с применением специфических и очень непростых минералогических подходов. Заменить первую группу аутигенных минералов (а это материальные объекты) словесной декларацией "солевая форма" и далее заменить слова "солевая форма" и подменить их "сверхтокими фракциями" – это спекуляция.

Единственный положительный аргумент в пользу работы с пробами нанофракций – небольшая масса представительных проб, но этот аргумент с лихвой перекрывается отрицательными побочными эффектами: трудоемкостью выделения нанофракций, необходимостью использовать высокочувствительные методы анализа нанофракций (для золота необходима чувствительность 0.1 мг/т) и, как следствие, низкой производительностью и высокой общей стоимостью работ. Баланс между преимуществами и недостатками, скорее, отрицательный (см. рис. 3.1).

Приведенные данные позволяют сформулировать предварительные выводы о роли различных фазовых форм в приложении к практике традиционной поисковой геохимии.

1. Нанофазы рыхлых осадков могут быть представлены терригенными глинистыми минералами, переизмельченными зернами породобразующих минералов, а также аутигенными минералами, образованными в ходе сингенеза в субаэральных обстановках (см. рис. 3.4).

2. Вся терригенная обломочная часть рыхлых осадков, включая терригенную глинистую составляющую, в разной мере (в зависимости от конкретных условий) является носителем поисковой информации: это продукты механического разрушения пород и руд. Это справедливо даже, если терригенные зерна осадков, разрушаясь, продуцируют вторичные гипергенные (аутигенные) минералы, например: при взаимодействии с поровой водой происходит разложение терригенных плагиоклазов и сульфидов, высвобождение кальция, бария и серы в раствор и при изменении условий и пересыщении раствора – образование нерастворимых в воде сульфатов бария, кальция: барита, гипса – типичных аутигенных минералов, а при наличии в растворах иона CO_3^{2-} или SO_4^{2-} – карбонатов и сульфатов этих и других металлов.

3. Декларация "солевая форма", которая традиционно понимается геохимиками как синоним носителя поискового сигнала с глубины, –

это мысленная абстракция (понятие, примерно соответствующее генетическому типу), которая в рыхлых осадках не имеет материального воплощения: эта декларация – не синоним "аутигенным фазам" и тем более не синоним наноразмерных частиц (см. рис. 3.3–3.9). Чтобы выделить материальный признак, отвечающий за отнесение к тому или иному генетическому типу, придется научиться разделять аутигенные нанофазы (и, как показано на рис. 3.9, далеко не только нанофазы) на фазы, несущие поисковую информацию и не несущие этой информации. Для изученной группы рыхлых проб (см. рис. 3.3–3.8) это означает: выявить признаки, по которым смектиты должны быть разделены, но на каждой пластинке смектита нет штампа-метрики об источнике вещества (т. е. о минералах-прародителях) этой пластинки. Это можно было бы установить для каждой конкретной пробы только в прямом эксперименте, используя метод меченых атомов в течение нескольких тысяч лет. Если даже сделать гипотетическое предположение и считать, что признак разделения аутигенных минералов по абстрактному свойству "поисковая информация" найден, то представить как, за какое время и за какие деньги должна обрабатываться каждая из сотен или тысяч проб поисковой площади, чтобы использовать этот признак на практике, – скольконибудь разумных идей не возникает. Также нет никаких оснований *априорно приписывать всем нанофазам осадка (пробы) наличие гипотетического (не измеряемого) свойства "глубинности"*.

Заключая раздел о фазовых формах веществ в рыхлых осадках, целесообразно кратко рассмотреть проблему с точки зрения предпочтительности выбора объектов измерения для корректного отображения структур распределения рудных компонентов и выявления рудных объектов на площади съемки или поисков.

1. *Зерновые формы.* Ранее уже упоминалось, что вся терригенная часть осадков (включая наноразмерные терригенные зерна) как объект измерений информативна для выявления рудных объектов (этап поисков) и идентификации стратифицированных и нестратифицированных образований в коренном залегании (этап съемки), находящихся под чехлом рыхлых отложений. Корректные измерения зерновой составляющей рыхлых осадков предоставят корректные данные для последующей интерпретации и заключений. Вместе с тем неизбежны ослабление и искажение информативного сигнала на интервале "коренная порода (руда в коренном залегании) – рыхлый осадок". Полезная информация, полу-

ченная по зерновой составляющей в точке отбора пробы, – это функция многих переменных: соотношения местного и дальнеприносного материала, наличия или отсутствия сингенетической дифференциации зерен в разрезе рыхлых отложений, строения разреза рыхлых отложений, соотношения скоростей химического преобразования зерен различного состава и мн. др. Важно то, что перечисленные факторы-переменные объективны: в каждой точке опробования на профиле или полигоне соотношения вкладов разных переменных в значение функции различны и это неизбежно ведет к искажениям итоговой полезной информации и внесению не учитываемых искажений в итоговых документах. Тем более это важно для региональных съемочных работ, при которых точки опробования разнесены на километры. Даже с позиций технологий рудного аудита исключить искажения полностью невозможно, но возможно учесть, обосновав до начала полевого пробоотбора, какие именно поисковые параметры будут наиболее информативны и какие числовые значения поисковых параметров минимизируют искажения в итоговых документах. Вне технологий рудного аудита даже вопроса о необходимости учета искажений не возникает, не говоря уже о способах учета. Из изложенного следует вывод: поисковый (съемочный) проект – двухступенчатая процедура и разбивается на "предпроектные изыскания" и "выполнение работ по проекту". В ходе предпроектных изысканий (*нуль-этап*) на конкретной поисковой или съемочной площади выясняются измерительные модели и параметры рабочей области и устанавливаются их числовые значения, формируется технология работ, готовятся инструменты корректных измерений и квалифицированный персонал. На следующем этапе выполняются поисковые (съемочные) работы по обоснованному технологическому регламенту.

2. *Аутигенные формы* (некорректные синонимы, но употребляемые как синонимы: солевые, диффузионные, сверхтонкие или нанофракции). Ранее уже обсуждалось, что вещественные признаки для разделения аутигенных фаз по свойству "поисковая информация" отсутствуют, поэтому самостоятельная роль аутигенных фаз для поисков не очевидна, однако использовать аутигенные фазы в связке с зерновой формой рудных компонентов имеет смысл (см. гл. 4). Этого достаточно, чтобы отдать предпочтение терригенным фазам для обоснования измерительной модели при выполнении производственных работ, но будет уместно попытаться хотя бы обозначить причины трудностей выявления поиско-

вой информации по аутигенным фазам. Формирование аутигенных фаз всегда происходит с участием водных растворов, которые гораздо более мобильны в вертикальном и латеральном направлениях и разнообразны по составу, чем терригенная составляющая осадков. Водный режим и история водного режима в каждой точке опробования могут сильно различаться (соотношение вод разного типа и динамика изменения соотношений, условия кристаллизации твердых фаз из поровых растворов) к моменту отбора проб с уже закрепленными твердыми аутигенными фазами, поэтому поисковая информация, полученная по аутигенным фазам, может быть трудно или совсем не сопоставимой для всех удаленных точек пробоотбора.

Если для зерновых форм поисковая информация – это функция многих, но нескольких основных переменных, реализованных в осадке, то в отношении аутигенных фаз – это функция очень большого числа переменных, что делает саму функцию неустойчивой, а решения трудно предсказуемыми в каждой точке опробования. Реконструировать динамику вод во времени и выяснить историю вод в данной точке опробования гораздо сложнее (точнее – эта задача не поискового уровня), чем историю терригенного материала, но если этого не делать и выполнять работы, ориентируясь на аутигенные фазы, то в итоговых документах появятся непредсказуемые искажения, величина которых неизвестна. С этих позиций неоправданное завышение роли аутигенных фаз в качестве носителей поисковой информации не имеет достаточных оснований. Во всяком случае, перед тем как принять какой-либо поисковый (съемочный) проект к финансированию, от исполнителя необходимо получить веские и объективные аргументы (но не декларации), почему именно аутигенная форма наиболее информативна в поисковом отношении на *данной* поисковой площади. Однако, кроме объективных причин искажения поисковой информации по аутигенным фазам, не меньший отрицательный вклад вносит терминологическая путаница, которую следует фильтровать: материальные объекты и их свойства следует отличать от виртуальных образов.

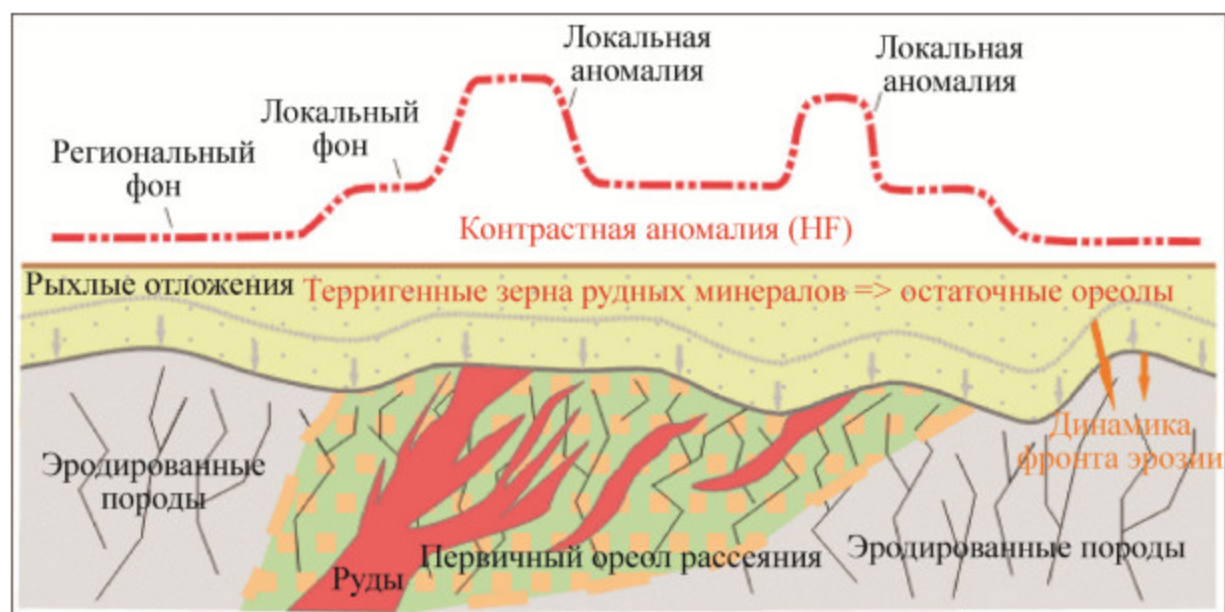
4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

В развитие заключений гл. 3 возникают предпосылки для привязки информационных реплик к ореолам вторичного рассеяния в рыхлых отложениях, сформированных фазовыми формами двух типов: терригенными (кластическими) и аутигенными минералами.

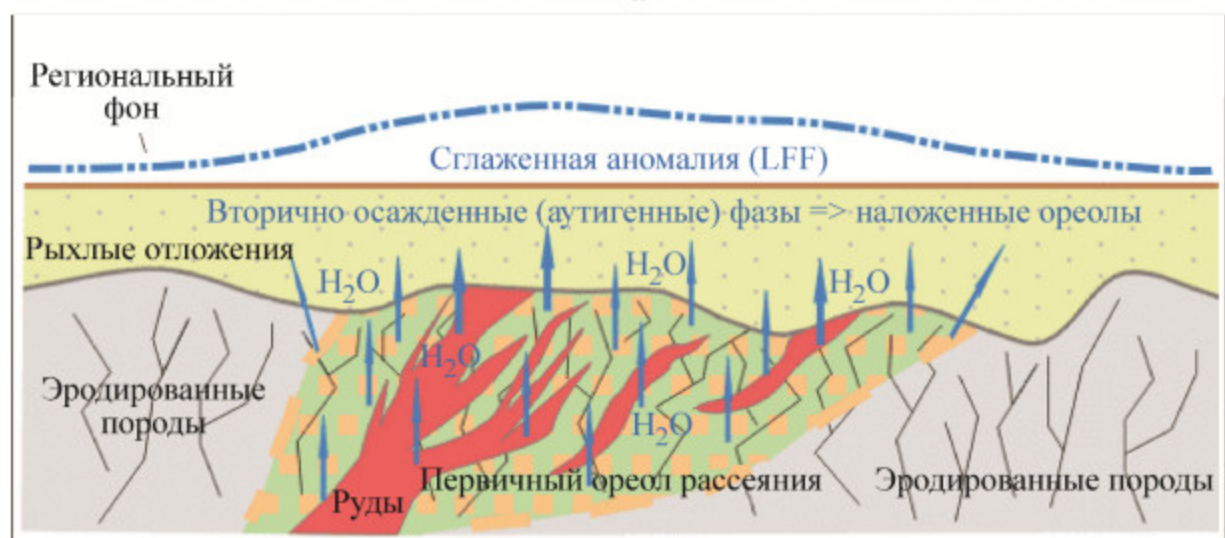
В отличие от терригенных минералов источник вещества в аутигенных фазах не определен: в рыхлых осадках стадий сингенеза–диагенеза нет каких-либо специфических свойств и признаков, указывающих на место в пространстве или на горные породы, в которых генерировались водные растворы, представлявшие собой сначала среду для транспортировки растворенных компонентов, а затем и источник аутигенных минералов после выпадения твердых фаз из растворов (см. гл. 3). Конечно, пространственно-генетические факторы играют важную роль при интерпретации механизмов формирования вторичных ореолов рассеяния, однако на этапах создания информационных реплик природных объектов генетические аспекты вторичны: они не являются параметрами измерительной модели и не определяют числовые значения параметров рабочей области. Это означает, что в информационной реплике целесообразно отобразить только наличие аутигенных фаз и их химический состав, без явного указания на источник растворов, из которых эти фазы сформированы. В гл. 3 уже обсуждалось, что вещественных признаков, по которым аутигенные фазы можно было бы разделить на фазы, несущие информацию о рудах в коренном залегании, и на фазы, не несущие такой информации, не представляется возможным на современном уровне знаний и инструментальной оснащенности, но если они появятся, то соответствующие элементы могут быть добавлены в измерительную модель и в список параметров рабочей области и в информационных репликах будут отражены новые качества и параметры.

На рис. 4.1 приведены обобщенные схемы формирования вторичных ореолов рассеяния двух типов: *а* – остаточных (образованы терригенными зернами подстилающих пород и руд); *б* – наложенных (образованы аутигенными минералами, переотложенными из поровых-грунтовых вод, дренировавших подстилающие коренные породы и руды и остаточные ореолы рассеяния). Практический опыт показывает, что аномалии, формируемые этими вторичными ореолами, значительно

различаются по амплитуде и размеру, внутренней структуре, вещественному (фазовому и элементному) составу, поскольку процессы формирования остаточных и наложенных ореолов различны: остаточные формируются за счет последовательного продвижения механического фронта эрозии в массу горных пород, а наложенные ореолы в большей мере обусловлены химическими процессами растворения материала горных пород и перекрывающих рыхлых осадков и последующей кристаллизации из растворов в виде аутигенных частиц на начальных этапах литификации осадков.



а



б

Рис. 4.1. Вторичные ореолы рассеяния: а – остаточные, формируются терригенными зернами эродируемых коренных пород; б – наложенные (переотложенные), формируются аутигенными минералами.
Синие стрелки – динамика поровых и грунтовых вод

Если оставить за пределами изложения дальнейшую генетическую интерпретацию различий и ограничиться лишь технологиями и механикой получения информационных реплик ореолов по вещественным параметрам, возникает прямой вопрос и именно по обсуждаемой теме: "Какие вещественные свойства рыхлых (нелитифицированных или слаболитифицированных) осадков должны быть корректно отображены в информационных репликах ореолов двух типов с заданным значением КС?" Вопрос требует уточнений, поскольку вещественные свойства проб могут быть охарактеризованы как на элементном, так и на фазовом уровне, а информационные реплики этих уровней имеют различные параметры измерительной модели и, следовательно, разные числовые значения параметров рабочей области.

4.1. Информационные реплики элементного уровня

Для получения реплик остаточных и наложенных ореолов следует констатировать и принять:

- измерительная модель для обоих ореолов – модель типа "куча" (см. 2.3);
- набор параметров рабочей области для обоих ореолов аналогичен (см. 2.4), граничные значения параметров рабочей области различны;
- числовые значения параметров рассчитываются по (2.2), исходя из требуемой детальности (чувствительности, погрешностей), рудного компонента, значения конечного КС и принятого технологического регламента работ.

4.1.1. Реплики остаточных ореолов элементного уровня

Если планируется получить информационную реплику остаточного ореола с чувствительностью для золота 0.04 г/т и если аналитический гранулометрический класс $< 250 \mu\text{m}$, то масса представительной пробы составит 6 кг. Причем для размера $74 \mu\text{m}$ чувствительность будет равна 0.001 г/т, но если такую же чувствительность 0.001 г/т назначить для размера $250 \mu\text{m}$, то масса представительной пробы станет 225 кг. Не учитывать это – значит работать с переменной чувствительностью по разным гранулометрическим классам проб (см. табл. 2.1). Исходя из полученных граничных значений рабочей области, исполнителю работ придется выбрать тип информационной реплики, сконструировать технологию работ и оценить значение КС, для чего придется принять сложное волевое решение: работать с переменной чувствительностью и значительным по-

нижением КС для упрощения и ускорения производственного процесса (производительность, время, затраты) или получить информационную реплику высокого качества, но пожертвовать содержательностью результатов, понизив чувствительность или верхний предел аналитического гранулометрического класса.

Достаточно очевиден общий вывод из изложенного: получение реплики ореола остаточного типа с заданным КС – это обоснованный задачей выбор корректных граничных значений рабочей области и адаптированное под задачу конструирование практичной и эффективной технологии выполнения работ. Принципы, на которых возможно выполнение этих условий, обсуждались в гл. 2 (см. рис. 2.6, 2.9 и 2.10). Однако следует обратить внимание, что, несмотря на общность принципов получения информационных реплик остаточных ореолов, на этапе использования реплик (считывания с них полезной информации) могут возникать неоднозначности, если при конструировании технологии не будут учтены некоторые дополнительные параметры. Прежде всего это выбор типа сети опробования (равномерная, регулярная, профильная, точечная, шаг опробования) и глубины отбора проб для установления ореолов HF и LFF. Часто на практике значения этих дополнительных параметров могут быть определены в ходе дополнительного подготовительного этапа работ, выполняемого именно для установления значений этих параметров (*нуль-этап*).

4.1.2. Реплики наложенных ореолов элементного уровня

Для наложенных ореолов значения параметров рабочей области не столь жестко регламентируют все технологические звенья цепи даже при высоких значениях КС, но эти позитивные факторы с лихвой компенсируются негативными: сами итоговые реплики несут гораздо меньше информации об источниках аутигенных фаз, включая источники фаз с рудными компонентами, о чем подробно изложено в 4.1.1. Несмотря на невысокую поисковую информативность наложенных ореолов, они часто являются главной темой профессиональных дискуссий, и в литературе можно ознакомиться с разнообразными вариантами трактовки тех свойств, которые вообще не присущи наложенным ореолам, поэтому некоторые аспекты создания и использования информационных реплик наложенных ореолов следует обсудить несколько более подробно.

Как было показано в 3.1, начало литификации рыхлых осадков сопровождается отложением аутигенных минералов в межзерновом пространстве, в порах и на поверхностях терригенных зерен. При кристаллизации из поровых вод, т. е. при формировании наложенных ореолов, высвобождаются растворенные компоненты, которые образуют самостоятельные минералы или входят в состав других аутигенных фаз в виде изоморфных примесей или наноразмерных включений. Надежными ассоциативными спутниками аутигенных фаз являются те кластические зерна, поверхности которых агглютинированы аутигенными фазами, что дает возможность по этим косвенным признакам отличить седиментогенные терригенные субмикронные фазы (см. рис. 3.4, *a–г*) от собственно аутигенных новообразований (см. рис. 3.5, 3.6), хотя дости-

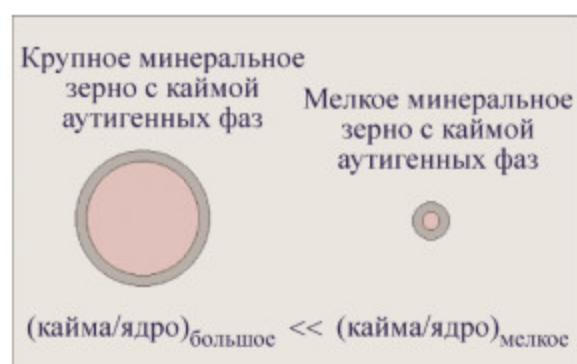


Рис. 4.2. Соотношения относительных объемов аутигенных корок на мелких и крупных обломочных зернах

гается это применением специальных процедур. Селективное выделение или концентрирование аутигенных новообразований из проб рыхлых отложений для последующего химического анализа может быть основано на принципе, показанном на рис. 4.2.

Если аутигенные фазы агглютинируют поверхность обломочных зерен рыхлых осадков, то относительная доля аутигенных корок на мелких зернах значительно выше, чем на крупных. Следовательно, при выделении относительно мелких зерен ($< 1...20 \mu\text{m}$) из пробы рыхлых отложений произойдет концентрирование аутигенных минералов. Выделенный концентрат аутигенных фаз будет в значительной мере представлять те события, которые происходили при формировании наложенных вторичных ореолов рассеяния, поскольку на стадиях сингенеза–диагенеза механизм формирования аутигенных фаз протекает по цепочке: поровая вода $\rightarrow$ растворение минералов коренных пород $\rightarrow$ перемещение растворов $\rightarrow$ осаждение аутигенных фаз из растворов в межзерновом пространстве рыхлых осадков или на границах кластических зерен. Подобный концентрат аутигенных фаз суммирует химический состав собственно аутигенных минералов, но также и химический состав самих кластических зерен, на которые агглютинированы аутигенные фазы. В мелких частицах (менее

5...10 μm) вклад аутигенных фаз в суммарный химический состав концентрата значителен по сравнению с вкладом крупных кластических зерен (рис. 4.2), поэтому если из концентрата кроме более крупных зерен будут удалены все (мелкие и крупные) зерна минералов более "тяжелых", чем кварц и полевые шпаты, то в итоговом аутигенном концентрате будут сконцентрированы химические элементы большей части середины и нижней части таблицы Менделеева, причем будет выделена именно та часть химического состава, которая обусловлена формированием наложенных вторичных ореолов рассеяния.

Данная идея получения информационных реплик наложенных ореолов и техника работ с аутигенными фазами существенным образом отличается от очень сходной (на первый взгляд) идеологии метода МОМЕО (и его "копии" – метода МАСФ, ВСЕГЕИ), предложенного китайскими коллегами, которые рекомендуют выделять все частицы (терригенные и аутигенные) нанометровой размерности, генезис которых может быть различным. Идея понятна: представительные пробы для нанометровых фракций составляют доли грамма и при наличии достаточно чувствительных инструментов определения элементного химического состава могут быть получены вполне корректные аналитические результаты. Однако идеология МОМЕО несет в себе неявные, но очень существенные ограничения для практического применения:

- методика непригодна для выявления остаточных ореолов (см. 2.3 и 2.4);

- использование только нанофракций без какой-либо дополнительной селекции материала не обеспечивает получения данных именно о наложенных ореолах, поскольку в нанофракциях присутствует терригенный материал из подстилающих пород, подвергающихся эрозии (остаточные ореолы), не имеющий никакой связи с наложенными вторичными ореолами рассеяния.

В гл. 3 подробно обсуждалось, что "наноразмерная фаза" и "аутигенная фаза" ни в каких вариантах не являются синонимами. Яркая иллюстрация этого приведена на рис. 3.1: метод анализа сверхтонких фракций (МАСФ, ВСЕГЕИ, 2005) не "почувствовал" рудную зону в коренных породах, хотя именно в декларациях авторов МАСФ утверждается о беспрецедентной чувствительности и "глубинности" метода. Единичные высокие значения на профиле МАСФ на графике обусловлены случайным попаданием в пробы мелких терригенных зерен золота в полном соответствии с метрологией измерительной модели типа "куча" (см. 2.3, рис. 2.2).

Заканчивая обсуждение свойств наложенных ореолов и возвращаясь к информационным репликам остаточных и наложенных вторичных ореолов рассеяния элементного уровня, а также к технологиям и инструментам их отображения, целесообразно указать на уже имеющийся позитивный практический опыт.

Если поставлена задача по одновременному отображению остаточных и наложенных ореолов из одних и тех же проб, то необходимо выбрать (рассчитать) числовые значения параметров рабочей области, которые удовлетворяли бы требованиям как "зернового" (остаточные ореолы), так и "аутигенного" (наложенные ореолы) вариантов.

Очевидно, что при заданном значении чувствительности работ "зерновой" вариант потребует более высоких значений верхней границы granulометрического класса и большей массы представительных проб (пример расчета для золота приводился ранее: для чувствительности 0.001 г/г, размера фракции 74 μm , масса пробы 6 кг, для размера 250 μm – 225 кг). Причем если компонент интереса (один или, по крайней мере, один) будет локализован в одной или нескольких "тяжелых" фазах с плотностью более 4...5 г/см³, то технология получения реплики должна будет иметь самостоятельное технологическое звено (и инструмент, см. 2.6), обеспечивающее попадание в навеску для химического анализа всех фаз, содержащих компонент интереса, т. е. из исходной пробы будет необходимо выделить концентрат, в котором будет находиться вся масса рудных компонентов интереса с учетом величины потерь процесса концентрирования, и вся масса концентрата без остатка должна быть использована для выполнения химического анализа (часто химики используют навески 0.5...5 г). Несоблюдение этого требования порождает ситуацию, приведенную на рис. 2.7.

Для получения информационных реплик остаточных ореолов "тяжелых" компонентов (золото, платиноиды, никель, медь, редкоземельные и другие элементы, фазы которых имеют плотность выше 4...5 г/см³) используются установки оригинальной конструкции, имеющие метрологические характеристики, показанные на рис. 4.3.

Исходная проба сокращается до нужного размера, требующегося по принятому технологическому регламенту для лабораторной пробоподготовки и химического анализа. Подобная технология обеспечивает получение корректных данных для создания информационных реплик остаточных ореолов (рис. 4.3). В гл. 3 и на рис. 3.1 уже упоминалось, что при сравнении восьми традиционных методик геохимических поисков

Графики "потери–извлечение" для золота в матрице 3...4 г/см³, фракция < 250 μm

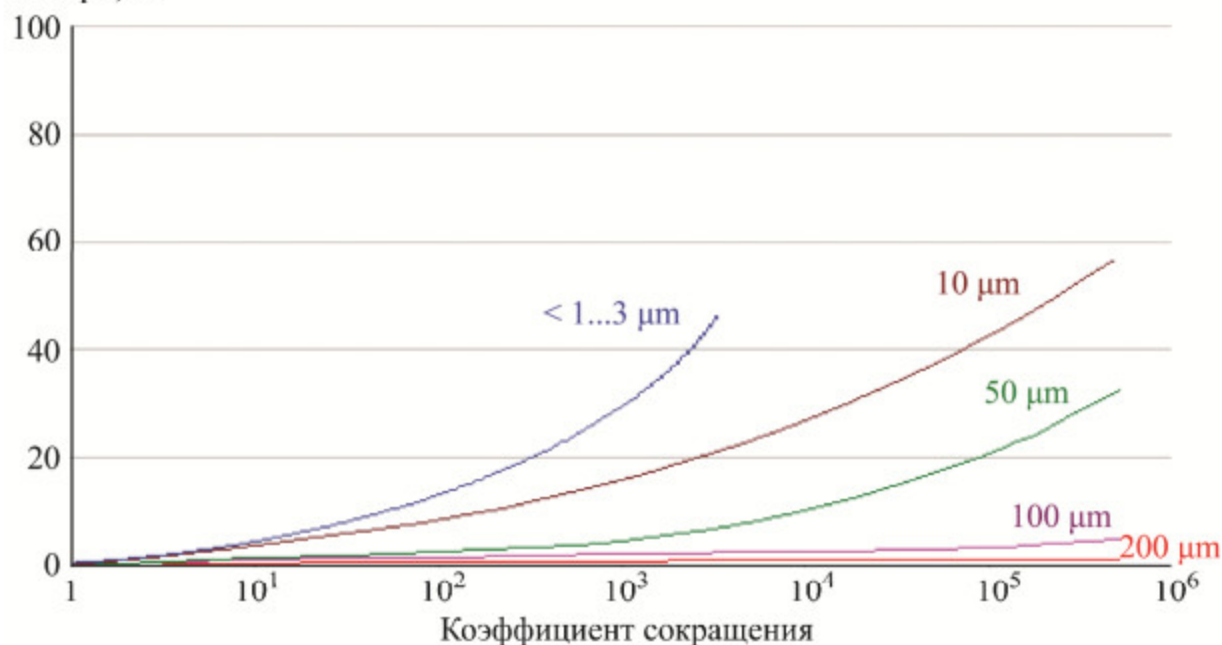


Рис. 4.3. Диаграмма потери-извлечение концентратора NROY MAH-3

только одна методика показала корректный результат, причем, как это теперь становится ясно, причины этого в том, что эта технология не является "методикой поиска", а создает информационные реплики объектов вместо эвристических поисковых иллюзий, используя элементы технологии и инструменты, указанные ранее.

Кроме выделения "тяжелых" (HF) концентратов из исходных проб, для получения информационных реплик остаточных ореолов из тех же самых проб на том же концентраторе можно одновременно получить "легкие тонкие" (LFF) концентраты для создания информационных реплик наложенных ореолов, выделяя размерную фракцию < 10 μm (или в размерном классе 0.1...10 μm), причем (что очень важно и это отличает данную технологию и инструментарий от методик MOMEО – МАСФ) в этой фракции будут сконцентрированы: а) именно аутигенные минералы, а не все терригенные фазы, включая генетически разнородный кластический материал; б) относительно "тяжелые" фазы будут удалены из концентрата LFF и сконцентрированы в концентрате HF, с метрологией, показанной на рис. 4.3.

Естественно, что одни и те же химические элементы могут присутствовать как в концентратах HF, так и в концентратах LFF, поэтому корректно рассчитанные соотношения элементов в этих концентратах укажут на многие генетические и прогностические аспекты рыхлых осадков и потенциальных руд. Распределения элементов по концентратам

там HF и LFF для различных регионов и площадей будут различными, вследствие различий геологического строения, климатических, ландшафтных, обстановок осадконакопления и эволюции рыхлых осадков. На рис. 4.4 представлены сравнительные данные по концентратам HF и LFF для двух удаленных участков работ.

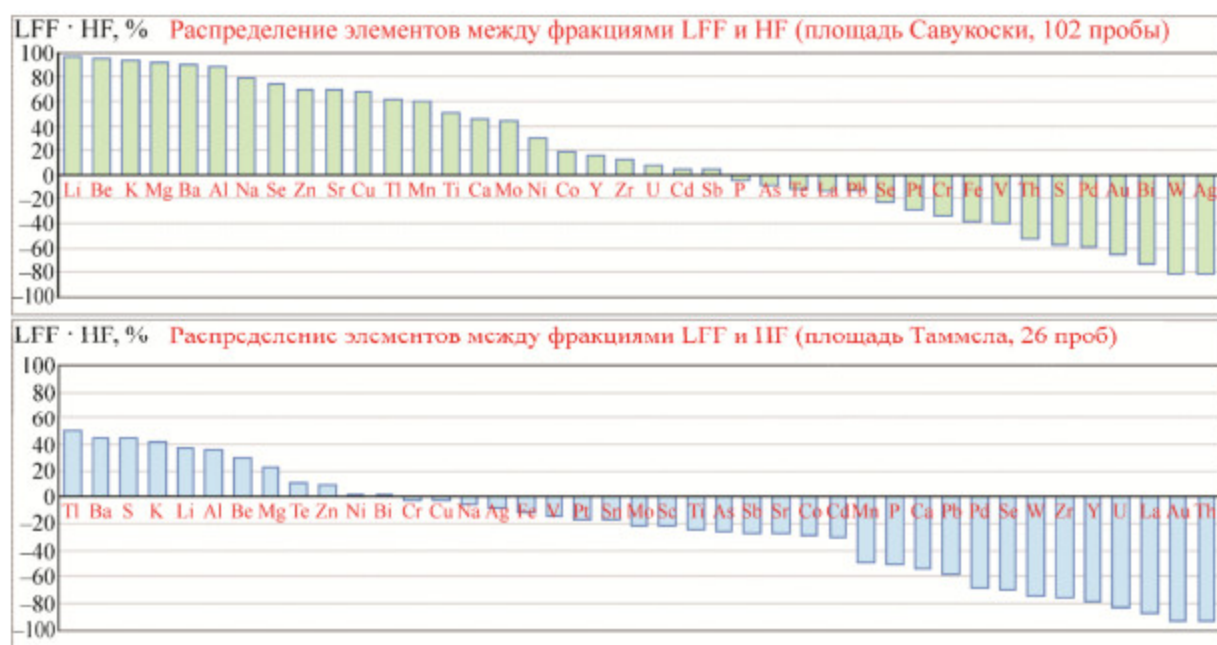


Рис. 4.4. Графики распределения химических элементов между концентратами LFF и HF для двух исследованных участков. Суммарное содержание каждого элемента в двух концентратах приведено к 100 %. Разность концентраций (LFF – HF) показывает, насколько тот или другой концентрат обогащен данным элементом.

Положительные значения – накопление преимущественно в наложенных вторичных ореолах (в аутигенных фазах), отрицательные – накопление преимущественно в остаточных вторичных ореолах (в кластических зернах)

Раздельное отображение химических элементов позволяет конкретизировать смысл поисковой задачи. Становится возможным правильно ориентироваться, аномалии каких элементов и в каких концентратах (HF или LFF) обеспечивают генетическую привязку аномалий на данной площади. Ценная поисковая информация.

Приведенные данные распределения элементов между HF и LFF для двух участков существенно различаются, что свидетельствует о различном составе эродируемых пород и о различных условиях начальных этапов литификации осадков. После подобной предварительной подготовки площадей возможно выполнение работ по сбору и обработке проб для создания информационных реплик остаточных ореолов по элементам, накапливающимся в терригенных минералах (концентрат HF), а также реплик наложенных ореолов по элементам, накапливающимся в аутигенных минералах (концентрат LFF, рис. 4.4).

4.2. Комбинированные реплики элементного уровня

Производство комбинированных информационных реплик остаточных и наложенных ореолов элементного уровня с наибольшей полнотой отражает свойства потенциального рудного объекта, однако раздельная информация по остаточным или наложенным ореолам также может оказаться востребованной из-за меньшей стоимости работ. Между тем в качестве иллюстрации эффективности использования комбинированных реплик полезно остановиться на основных этапах их создания на реальном примере.

Такие работы по этой тематике проводились совместно с Геологической службой Финляндии (GTK) на площади около 950 км² на участке Савукоски и преследовали две цели: 1) выполнение металлогенического анализа территории (региональный масштаб) для планирования последующих детальных поисковых работ на широкий круг рудных элементов; 2) сравнение эффективности и результатов геохимических работ, полученных по традиционным геохимическим поисковым методикам GTK, с результатами, полученными по технологии CROCS (©NATI Research OY). Эта технология в усеченном варианте CROCS-технологии известна в России под названием ОСПК (Отражение структур рудных компонентов), многократно использовалась (но не опубликована авторами) и во многом следует идеологии рудного аудита. Выполненные совместно с финскими коллегами работы предоставляют удобную возможность познакомиться с основными элементами CROCS-технологии и сопоставить результаты, полученные по традиционным и новым подходам. В очень усеченном варианте сравнение результатов обращения к различным геохимическим поисковым методикам было выполнено и в России (см. рис. 3.1), но заключительные выводы так и не были сделаны профессиональной общественностью.

Однако следует правильно воспринять акценты: все, что приведено в тексте далее, и составляет смысловую часть этой главы, касается особенностей и механики создания комбинированных информационных реплик вторичных ореолов рассеяния элементного уровня на конкретном примере площади Савукоски с использованием CROCS-технологии и не является ни формальным описанием самой технологии, ни отчетным документом работ, выполненных на этой площади. Все, что приведено далее, следует рассматривать в качестве практических примеров и иллюстраций к тому, что обсуждалось в гл. 2, хотя практическая ценность полученных результатов не вызывает сомнений.

4.2.1. CROCS-технология на площади Савукоски

CROCS-технология (technology for Correct Reflection of Ore Component Structure) – представляет собой целостную сложно построенную иерархическую систему, состоящую из многих взаимосвязанных блоков и элементов. Основное предназначение технологии – получение корректной аутентичной информации о природных структурах распределения компонентов (в том числе рудных) в рыхлых осадках, горных породах и рудах изучаемого объекта или изучаемой площади, что в терминах рудного аудита обозначает технологию отображения свойств природных объектов в их информационные реплики. Иногда без каких-либо оснований CROCS ошибочно воспринимается как одна из многочисленных разновидностей геохимических поисковых методик, что не соответствует действительности: дискуссии на эту тему уже завершились в тексте гл. 3.

Корректное отображение структур компонентов может применяться в различных областях: в экологии, экологическом мониторинге, землепользовании и геологии. В каждой из этих областей необходимо иметь корректную аутентичную информацию о структуре распределения компонентов (включая рудные) в рыхлых осадках, почвах или горных породах. В области геологии CROCS-технология применяется на всех стадиях геологического изучения территорий и геологических объектов. Если принять подразделение всего геологического процесса изучения территорий и локализации рудных объектов по правилам финских коллег, то весь процесс изучения будет включать четыре этапа: анализ территорий, региональные работы, поисковые работы, изучение рудных объектов (перевод названий авторский).

Применение CROCS на каждом из перечисленных этапов имеет специфику, которая определяется геологическими целями исследований, особенностями изучаемой площади и масштабом работ. Однако, несмотря на специфику применения на каждом из этапов, цель применения технологии не меняется: это создание информационных реплик, т. е. корректное отображение структур распределения компонентов. Это означает, что конечные информационные продукты, получаемые в качестве результата применения CROCS на каждом из этапов, различны в смысловом отношении, но каждый информационный продукт обладает общим свойством: аутентичным отображением свойств природных объектов. Последнее является тем главным преимуществом CROCS, которое отличает эту технологию от всех традиционных геохимических поиско-

вых методик, широко использующихся на практике. Некорректное отображение структур рудных компонентов традиционными поисковыми методами хорошо известно всем и прекрасно проиллюстрировано финскими коллегами (рис. 4.5) в интерактивной геологической базе данных GTK. По визуальной оценке данных на рис. 4.5 корреляция содержаний золота в минерализованных зонах коренных пород (включая месторождения) и перекрывающих рыхлых отложениях скорее отрицательная, чем положительная.

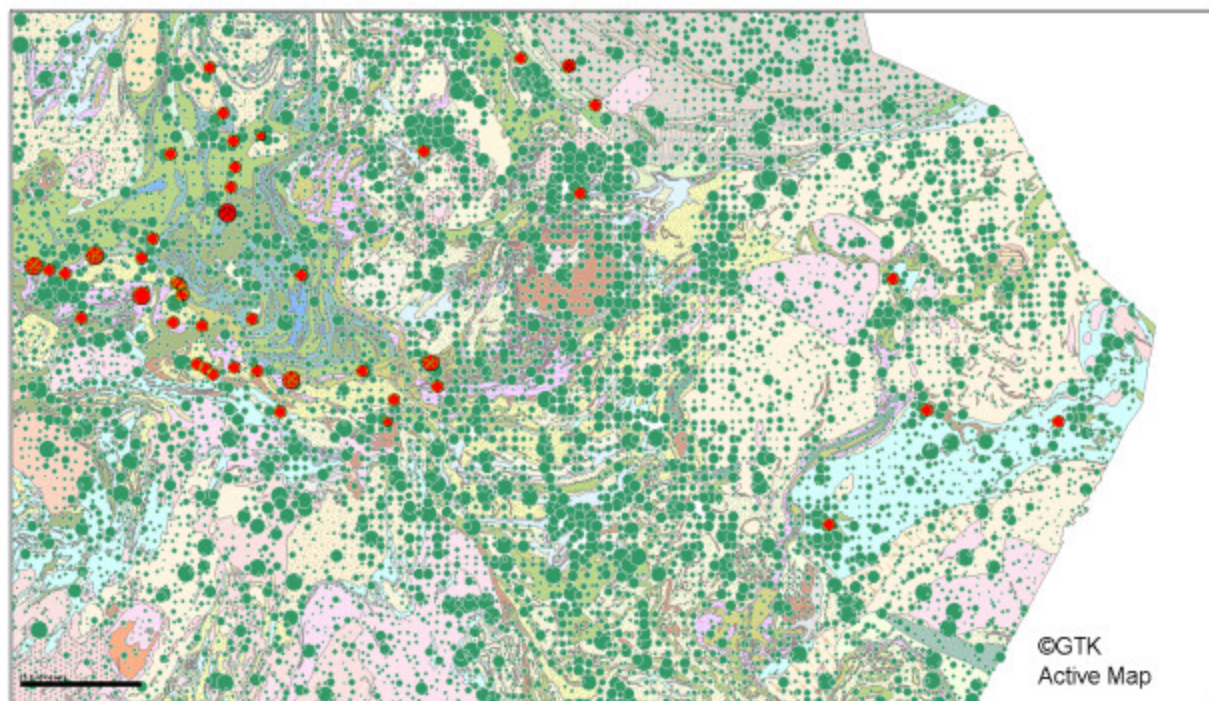


Рис. 4.5. Структуры распределения золота в коренных породах (красные пропорциональные кружки) и перекрывающих рыхлых отложениях (зеленые кружки) северной Финляндии. Масштаб на линейке 25 км

Поэтому анализ причин появления недостоверных результатов и путей их устранения – одна из целевых задач, поставленных перед собой NATI Research OY на площади Савукоски при отсутствии какого-либо интереса к этой задаче со стороны GTK.

На этапах региональных и поисковых работ кроме общего геологического изучения площадей осуществляется металлогеническое районирование территории и обоснование локальных участков, перспективных на выявление рудных объектов. Необходимость применения CROCS для получения достоверной информации о структурах распределения рудных компонентов как основы для металлогенического районирования и выделения локальных участков для поисковых работ следующего этапа (изучение рудных объектов) не вызывает сомнений. Однако для этапа выявления и доказательства рудного объекта в коренном залегании

только этого недостаточно. Поэтому для таких случаев в базовый объем CROCS-технологии вводится дополнительный логический блок: доказательство наличия именно вторичных ореолов рассеяния среди выявленных геохимических аномалий. Если доказано присутствие именно вторичного ореола рассеяния в рыхлых отложениях, то это прямо свидетельствует о наличии рудной минерализации в подстилающих коренных породах и дальнейшие поиски должны проводиться уже по первичным ореолам в коренных породах на всех последующих этапах становления рудных объектов.

На уже выявленных рудных объектах применение CROCS-технологии на этапе выделения природных разновидностей и технологических типов руд при подсчете запасов приносит наибольший эффект. Применение технологии на этих этапах необходимо:

- для 3D-картирования природных разновидностей руд;
- подготовки большеобъемных проб для пилотных испытаний;
- 3D-картирования различных технологических типов руд;
- обоснования бортовых содержаний и установления границ рудных тел, границ технологических типов руд при соблюдении требования равной чувствительности опробования в качестве основы для корректных оценок и подсчета запасов рудных компонентов.

Перечисленное имеет важное значение в практике работ, но в конкретном примере на площади Савукоски обсуждаться не будет.

4.2.2. CROCS-технология: основные блоки

CROCS-технология сконструирована по стандартной для технологий рудного аудита схеме, которая в общем виде представлена на рис. 2.10.

В течение *нуль-этапа* на метрологическом фундаменте (измерительная модель, параметры рабочей области, расчет граничных значений параметров, задание коэффициентов трансляции элементов технологии и итогового коэффициента соответствия) выбираются и сочленяются технологические звенья, в соответствии с требованиями метрологии звенья насыщаются оборудованием, материалами и исполнителями соответствующей квалификации, после чего выполняются работы по установленному технологическому регламенту.

В зависимости от акцентов стоящей задачи и конкретных геологических, ландшафтных, климатических, седиментологических условий предварительные работы по обоснованию размера и положения рабочей области часто выполнить достаточно сложно, поскольку перечисленные

факторы на каждой изучаемой площади имеют особенности, требующие учета. Для этого общая технологическая схема должна быть адаптирована к условиям и в ее состав могут быть введены дополнительные элементы, обеспечивающие учет дополнительных параметров, например выбор глубины отбора проб, выбор типа и густоты сети опробования и некоторые другие, для чего требуется выполнить опережающие специализированные работы. Подобные работы вместе со всеми элементами конструирования технологии проводятся в течение отдельного самостоятельного предварительного *нуль-этапа*, который не следует игнорировать: в большинстве случаев это приведет к уменьшению значения КС до неприемлемо низкого уровня и даже сделает все работы бессмысленными. Более того, исключение *нуль-этапа* из технологии работ может исключить выполнение некоторых важных элементов технологии, если на предварительном *нуль-этапе* не будут получены данные для расчета граничных значений параметров рабочей области или данные о распределении элементов по группам LFF и HF. На схеме, представленной на рис. 2.10, этот этап не выделен в качестве самостоятельного элемента и включен в блок "Технологический проект", который значительно опережает блок "Задания, работы".

4.2.3. CROCS-технология: сеть опробования

С позиций CROCS-технологии плотность сети опробования определяется поставленной задачей на предварительном *нуль-этапе* работ. При региональных работах на площади Савукоски основная задача – это определение металлогенической специализации геологических комплексов, и сеть опробования следовало бы выбирать такой, чтобы все основные геологические домены, которые нашли выражение на карте площади работ, были представительно охарактеризованы. Плотность сети опробования выбирается именно содержательной задачей, но не масштабом работ (хотя эти параметры близки и взаимосвязаны) и тем более не объемами финансирования: при одном и том же объеме финансирования содержательные результаты работ могут значительно различаться.

На площади Савукоски GTK запланировала выполнить региональные геохимические исследования на площади около 950 км² с отбором 100–150 проб (рис. 4.6, а), что приблизительно соответствовало масштабу 1 : 250 000 – 1 : 300 000 (1 проба на 6...9 км²). Возможности повлиять на логику опробования GTK со стороны CROCS-технологии не было, поскольку директивно использовался вариант GTK.

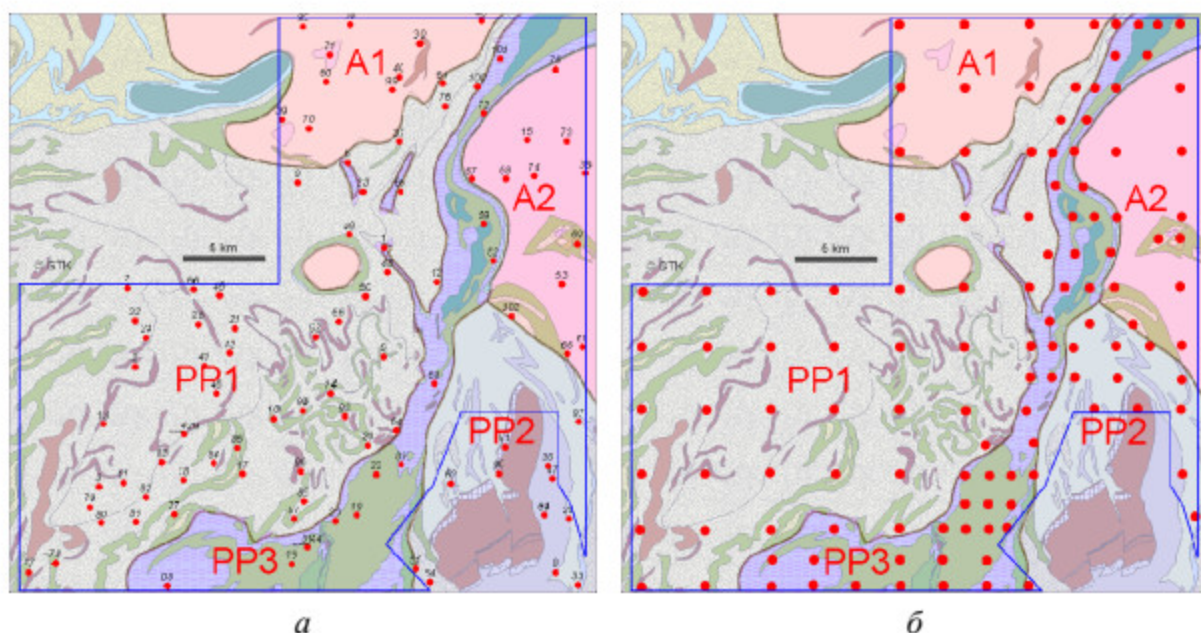


Рис. 4.6. Геологическая схема участка Савукоски: *а* – с картой мест фактического отбора проб (102 пробы); *б* – с картой более предпочтительного опробования по неравномерной регулярной сети (120 проб), учитывающей особенности геологического строения территории (пояснения в тексте). На схеме указаны основные геотектонические домены: А1 и А2 – архейские; PP1, PP2, PP3 – палеопротерозойские; PP3 – коматиитовый пояс (перидотитовые коматииты, Fe-толеитовые базальты, графит-сульфидные парасланцы). Рамка площади соответствует границам лицензии GTK. В правом нижнем углу рисунков на мафит-ультрамафитовом массиве Аканваара систематические работы не проводились: это лицензионная площадь другой компании

На площади выделяются пять основных геологических доменов архейского и палеопротерозойского возраста, которые в соответствии со схемой опробования GTK с содержательных позиций охарактеризованы неравноценно. Предложенная сеть опробования нерегулярная и неравномерная, значительные участки площади остаются не охарактеризованными, что неизбежно приводит к неоднозначной интерпретации геохимических данных. Это же затрудняет выделение перспективных участков для последующих детализационных работ и требует дополнительных усилий и затрат для определения реальных размеров выявленных аномалий HF и LFF. Последствия состоявшегося выбора сети опробования явно проявились в результатах GTK, полученных после завершения работ на площади Савукоски (рис. 4.9, б, 4.12, б, г, е).

С позиций CROCS-технологии могла быть предложена комбинированная сеть опробования площади (рис. 4.6, б), объединяющая две равномерные субсети разного масштаба. При этом выполнялись бы основные целевые требования к геохимическим работам регионального масштаба: выяснена металлогеническая специализация всех основных гео-

логических комплексов, комплексы были бы изучены с большей и равноценной полнотой, площадь изучена полностью, и предпосылки для выполнения следующих этапов геохимических поисков были бы аргументированы должным образом. Более того, как это следует из полученных результатов всего комплекса работ, достоверные аномалии рудных компонентов, полученные по некорректно выбранной сети опробования, не позволяют установить действительные размеры и конфигурацию ореолов рассеяния и, следовательно, выполнить обоснованные оценки рудных ресурсов, хотя при корректно выбранной сети такие предварительные оценки были бы возможны. В этих случаях даже на этапах получения информационных реплик региональных масштабов у горнорудных компаний могли бы появляться основания для увеличения чистых активов предприятий путем приобретения информации о рудных ресурсах обследованных территорий.

Качество выполненных работ в технологиях рудного аудита оценивается по величине погрешностей в отображении структуры компонентов на изучаемой площади, вносимых каждым элементом работ в отдельности. При использовании нерегулярной и неравномерной сети невозможно оценить погрешность этого технологического звена, но для равномерной сети опробования (или комбинации равномерных сетей) такие оценки становятся возможными. Использование нерегулярной, неравномерной сети неизбежно и непредсказуемо искажает контуры выявленных аномалий и ореолов рассеяния.

С позиций CROCS-технологии возможен также нетрадиционный принцип выбора сети опробования, который может применяться на этапах создания информационных реплик различных масштабов. Если площадь работ хорошо изучена геологически (включая геологию рыхлых отложений) и корректно выполнено металлогеническое районирование, то для локализации рудной минерализации вид и плотность сети опробования могут выбираться, исходя из типовых моделей рудных объектов, характерных для доменов с определенной рудно-формационной специализацией. Модельные расчеты с учетом ожидаемого размера рудного объекта и характера четвертичных отложений для различных глубин эрозионных срезов позволяют определить размеры вторичных ореолов рассеяния и концентрации рудных элементов в них. Это дает возможность корректно рассчитать плотность сети опробования, гарантирующую выявление рудного объекта в коренных породах при корректном выборе граничных значений параметров рабочей области.

4.2.4. CROCS-технология: глубина опробования

Выбор глубины опробования – это тема, которая в среде специалистов порождает многочисленные споры. Приверженцы разных подходов приводят различные и даже полярные аргументы и ссылки академического толка на теоретические положения о законах миграции химических элементов в рыхлых осадках в различных климатических и ландшафтных обстановках, об особенностях строения разреза и особенностях распределения химических элементов в разрезе современных осадков.

Позиция CROCS по этому поводу прагматична и утилитарна: все споры академического характера оставляются в стороне и глубина опробования для конкретной поисковой площади устанавливается экспериментально на опережающем *нуль-этапе*.

Общее свойство первичных и вторичных ореолов рассеяния – это уменьшение концентраций рудных компонентов при удалении от локального источника вещества. Уменьшение концентраций происходит в латеральном и вертикальном направлениях. Поэтому минимальная глубина опробования может выбираться такой, чтобы при выбранном уровне чувствительности работ концентрации рудных компонентов надежно фиксировались теми инструментами, которые предусмотрены технологией работ. При этом нет необходимости обсуждать или привлекать те или иные теоретические построения к исключительно практическому действию: экспериментальному определению глубины пробоотбора.

Экспериментальное определение глубины опробования начинается с изучения опубликованных геологических карт и отчетов, включая карты четвертичных отложений. В трех–пяти ключевых точках опробования, под которыми подстилающие коренные породы имеют контрастный состав (например, аркозовые кварциты – базальты, граниты – амфиболиты), по разрезу рыхлых отложений отбираются пробы с различной глубины (рис. 4.7). Специализированными работами определяется минералогический (породообразующие, акцессорные и рудные минералы) и химический состав проб, включая определения химического состава концентратов HF и LFF.

Сопоставление минералогических и химических данных позволяет экспериментально установить степень ослабления индикаторных признаков подстилающих коренных пород вверх по разрезу рыхлых отложений и тем самым выбрать оптимальную глубину пробоотбора для заданной чувствительности работ и выбранного инструментария. Взаимо-

согласованные значения глубины отбора проб и чувствительности работ позволят в дальнейшем выполнить корректные оценки КС этого звена CROCS-технологии.

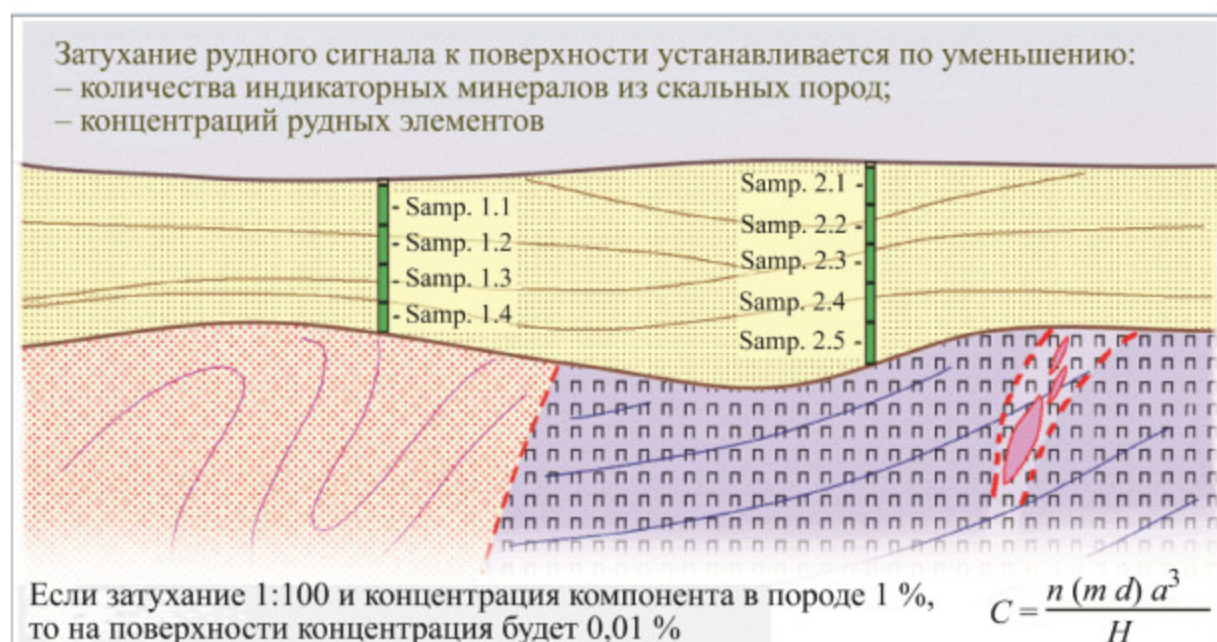


Рис. 4.7. Экспериментальный выбор глубины отбора проб.
Samp. 1.1–1.4 и 2.1–2.5 – пробы над контрастными по химическому и минералогическому составу горными породами

Выбор оптимальной глубины пробоотбора во многом определяет стоимость работ всего поискового цикла. В качестве примера (за пределами площади Савукоски): в непосредственной близости от устья шахты Пампало были отобраны несколько проб тилля с глубины 0.8 м из геохимического слоя "В" и с глубины 8 м непосредственно над эродированной поверхностью коренных пород. В пробах с глубины 0.8 м были найдены единичные (по 2–5 зерен) частицы золота размером 10...20 μm , что соответствует концентрации золота в пробе $n \cdot 1$ ppb. В пробах с глубины 8 м присутствуют зерна золота размером до 50 μm в количестве 15–50 зерен, что соответствует концентрации золота в пробах $n \cdot 10$ ppb (до $n \cdot 100$ ppb). Во всех пробах, но в разных количествах обнаружены зерна типичных минералов-спутников мезотермального золота: висмута, теллура, мышьяка, вольфрама, что свидетельствует о наличии вторичного остаточного ореола рассеяния и о местном источнике минеральных зерен в рыхлых отложениях, причем эти минералы типичны для золоторудных парагенезисов в коренных породах архейских зеленокаменных поясов Балтийского щита.

Полученные данные позволяют инвестору сделать выбор, если у него есть цель в выявлении ореолов рассеяния на сопредельных территории

ях: 1) либо применять дорогую технику пробоотбора для извлечения проб с глубины 8 м и использовать относительно дешевый метод химического анализа, не требующий низких значений порога обнаружения элементов; 2) либо проводить дешевый ручной пробоотбор с глубины до 1 м и выполнять достаточно дорогой метод химического анализа с чувствительностью аналитического метода на золото 0.5 ppb; 3) либо применять технологии рудного аудита и использовать дешевые виды пробоотбора и пробоподготовки и дешевые методы химического анализа проб. Решение будет принимать инвестор, исходя из количества проб на поисковой площади и ожидаемого уровня качества результатов, но важно то, что инвестору предоставлена возможность делать этот выбор. Если принять во внимание, что в первом случае потребуется получить многочисленные лицензии и разрешения различных ведомств и собственников земель на механизированный пробоотбор (поисковые лицензии), то второй и тем более третий варианты могут оказаться более предпочтительными и легко осуществимыми, тем более что ручной пробоотбор значительно меньше воздействует на окружающую среду и работы могут выполняться без получения лицензий в объеме тематик "общегеологического изучения" в юридическом поле "everyman's right".

В тестовых работах по CROCS-технологии на площади Савукоски не было необходимости определять глубину отбора проб экспериментально: по решению GTK пробы отбирались механизированным способом из базальных горизонтов рыхлых отложений. Средняя мощность рыхлых отложений в 102 пунктах опробования составила 5.6 м и только в 2 пунктах мощность составила 20 и 35 м. Тем не менее в 2 точках пробоотбора с мощностью рыхлых отложений 7 и 9 м была возможность сравнить уменьшение значений концентраций золота, платины, палладия, никеля и меди в пробах, отобранных непосредственно над поверхностью коренных пород и вблизи дневной поверхности. Для первых трех элементов значения концентраций варьировали вблизи порогов обнаружения элементов, не обнаруживая направленных изменений с глубиной; для никеля и меди значения концентраций на разной глубине были значимо выше порогов обнаружения, были близки по величине и соответствовали в целом средним значениям концентраций этих элементов для всех проб площади. Это позволяет заключить, что при обоснованном и принятом уровне чувствительности работ по CROCS-технологии на площади Савукоски не было необходимости выполнять механизированный пробоотбор, что существенно сокращает стоимость и время выполнения работ по проекту. Это позволи-

ло бы на порядок увеличить число проб и при минимальном воздействии на окружающую среду получить результат лучшего качества за то же время и при тех же затратах. Косвенно этот вывод усиливается примером с данными в районе шахты Пампало (см. ранее), где схожая ландшафтно-седиментологическая обстановка.

4.2.5. CROCS-технология: расчетные параметры рабочей области

Получение информационных реплик природных объектов, использующих измерительные модели типа "куча" (см. 2.3), предваряется выяснением граничных значений параметров рабочей области. Для отображения вторичных ореолов рассеяния выполняются расчеты для трех основных параметров рабочей области, которые включают: чувствительность работ, аналитический гранулометрический класс, массу представительных проб. Эти параметры функционально связаны (2.2), в граничных значениях учтены особенности природного объекта (площади работ), планируемые виды обработки проб и инструменты, обеспечивающие получение аналитических данных требуемого уровня.

4.2.6. Чувствительность работ

Четко определенное понятие (см. (2.2)) и производный параметр "чувствительность работ" ранее не практиковались профессиональным сообществом, поскольку эти категории не используются вне идеологии рудного аудита. Чувствительность работ не следует путать с чувствительностью аналитического метода определения концентраций химических элементов: эти понятия различны и не связаны друг с другом. Введение нового понятия "чувствительность работ" позволяет исключить (именно исключить) влияние "эффекта самородка (nugget effect)" на результаты, корректно рассчитывать массы представительных проб и выбирать оптимальные и корректные комбинации методов пробоподготовки и химического анализа, учитывающие особенности конкретных поисковых площадей. Опыт общения с коллегами-практиками показывает, что если речь заходит о чувствительности, то у них возникают устойчивые ассоциации с чувствительностью конкретного лабораторного аналитического прибора для определения концентраций химических элементов и не более того, но в противоположность этому в идеологии рудного аудита данное понятие имеет фундаментальное значение.

При выборе конкретного варианта комбинации граничных значений основных параметров рабочей области следует пользоваться (2.2), но всегда работает мнемоническое правило, которое в любой момент может быть проверено и уточнено. Значения переменных для всего списка элементов интереса при заданной пороговой чувствительности работ в любых вариантах вхождения элемента в минералы-хозяева будут внутри рабочей области, если границы рабочей области отвечают самому тяжелому минералу (наибольшее значение d), самому крупному зерну в аналитическом размерном интервале ($a_{\max}$) самородного ($m = 1$) минерала в навеске массой ($H_{\max}$), соответствующей заданной чувствительности работ. В этом случае вся группа анализируемых проб будет обладать свойством соизмеримости и в качестве результата будет получена корректная информационная реплика природного объекта, а не некий авторский художественный образ. С упрощениями в этой мнемонике можно принять, что рабочая область для некоторого конкретного задания будет ограничиваться максимальными значениями переменных чистого самородного золота: у золота максимальный удельный вес из практически всех известных минералов, и даже при равенстве граничных значений других параметров у других минералов, слагающих пробы, рабочая область, определенная по золоту, будет максимальной (рис. 4.8).

Для золота региональный концентрационный фон территорий часто составляет десятые доли или первые единицы миллиграммов на тонну ($n \cdot 10^{-10} \dots n \cdot 10^{-9}$), следовательно, чувствительность работ в типовых условиях может соответствовать этому порядку величин, хотя это не является общим и безусловным правилом: параметр расчетный.

Техника работ, принятая ГТК на площади Савукоски, предусматривала работу с аналитическим гранулометрическим классом $-63 \mu\text{m}$ и использовала навеску 5 г, направляемую на химический анализ. Пользуясь (2.2) и графиками (рис. 4.8), легко рассчитать, что если в навеске 5 г будет присутствовать единственное зерно золота размером $63 \mu\text{m}$, то концентрация золота составит 0.95 г/т. Это означает, что для проб, в которых присутствуют зерна золота, размер которых близок или превышает верхнюю границу аналитического гранулометрического класса, ограничения по чувствительности будут иметь не только нижний, но и верхний порог, который при принятой массе пробы на золото будет ~ 0.9 г/т, что неприемлемо не только для детальных поисковых, но

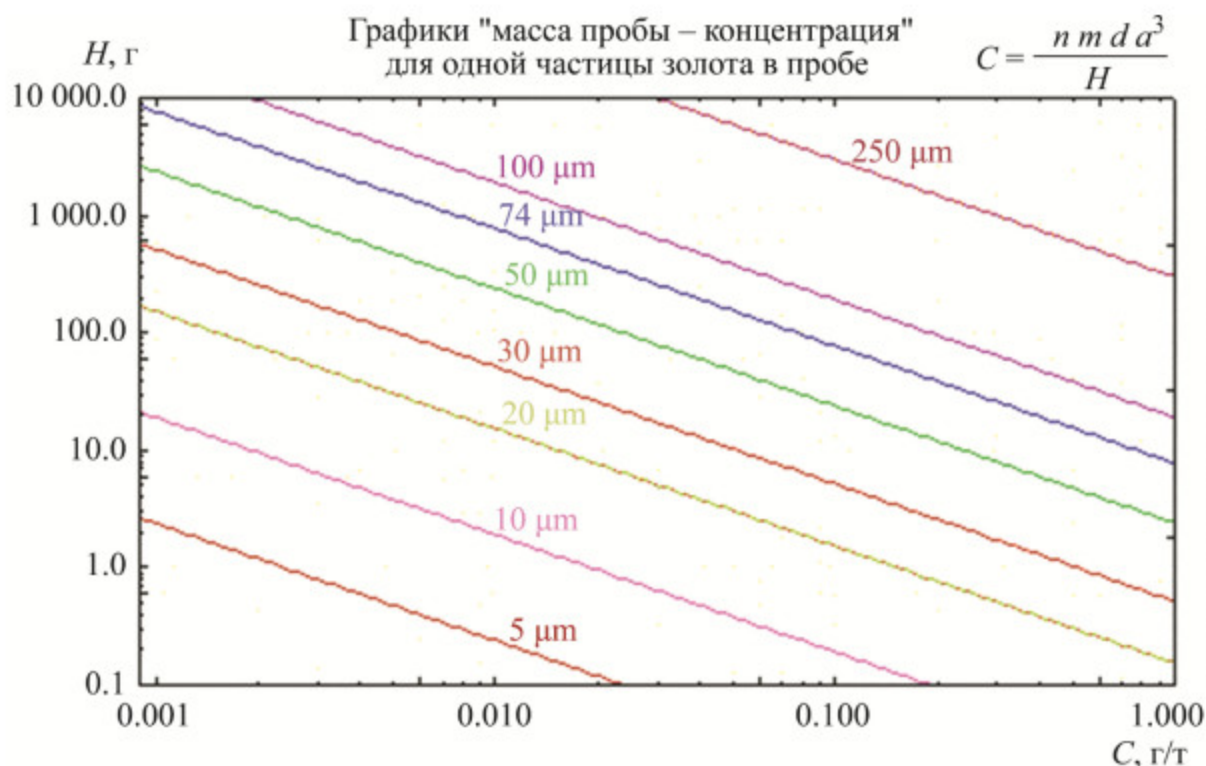


Рис. 4.8. Зависимость массы пробы от концентрации золота для различных граничных значений параметров рабочей области

и для региональных работ. Для более мелких зерен такая логика также справедлива, но пороговые уровни чувствительности будут меньше (и весь диапазон в целом будет уже): для зерна 20 μm чувствительность составит 0.03 г/т, и только для зерен размером 6.4 μm она будет достаточной для работ этого типа – 0.001 г/т. Это означает, что принятая в GTK методика (правильнее называть ее схемой сбора и обработки проб), оставаясь в пределах работы с представительными пробами, ориентирована на выявление низкочастотных и низкоамплитудных аномалий, что с позиций CROCS-технологии приблизительно соответствует выделению только LFF-аномалий (см. рис. 4.1). Для выявления HF-аномалий (остаточные ореолы, поисковые задачи) схема GTK не обладает достаточным интервалом чувствительности по относительно крупным зернам аналитического гранулометрического класса. Все данные, которые будут получены для более крупных частиц +63 μm , будут получены по непредставительным пробам, и их следует игнорировать.

Между тем для металлогенических оценок территорий требуется, чтобы работы выполнялись с более высокой чувствительностью для зерен всех размеров, включая крупные, в пределах выбранного аналитического гранулометрического класса. Это означает, что для верхней границы гранулометрического класса 63 μm и при требуемой чувствительности на зо-

лото 1 мг/т концентрации золота во всех пробах для всех размеров зерен гранулометрического класса будут соответствовать чувствительности 1 мг/т только в аналитической навеске 4.75 кг, и именно такая масса пробы будет представительной для заданных граничных значений аналитического гранулометрического класса (см. рис. 4.8).

"Чувствительность работ" и "чувствительность аналитического метода определения концентраций химических элементов" никак не связаны и не сопоставимы в смысловом отношении. Оценить погрешность по результатам работ с применением методик, позволяющих анализ проб с недостаточной чувствительностью для всех размеров гранулометрического класса, практически невозможно. Правильнее признать такие данные непригодными для применения и не использовать их в ходе интерпретации результатов. В подтверждение этому: на итоговых картах GTK для серы, золота и платины (рис. 4.9, б, 4.12, з, е) действительная поисковая информация не нашла отображения.

4.2.7. Аналитический гранулометрический класс

Аналитический гранулометрический класс – это один из равнозначных взаимосвязанных параметров, определяющих границы рабочей области (см. (2.2), рис. 4.8), поэтому граничное значение параметра выбирается с учетом значений других параметров. Однако в практике работ геологические и седиментационные особенности изучаемой площади могут поставить получение корректных результатов в большую зависимость от выбора именно граничного значения аналитического гранулометрического класса. Хорошей иллюстрацией этого является сравнение двух карт распределения серы в точках опробования на площади Савукоски (рис. 4.9). Этот элемент выбран неслучайно: среди коллег нет единого мнения относительно возможности использования серы в качестве информативной поисковой единицы, поэтому кроме прямой задачи по выбору гранулометрического класса на этом примере удобно составить мнение о возможностях использования данных по сере в поисковых целях и в дополнение еще и сравнить эффективность идеологии и техники методик получения информации.

Так, на площади Савукоски, судя по распределению серы между фракциями LFF и HF, сера преимущественно присутствует в терригенной сульфидной форме в концентрате HF (см. рис. 4.4), в котором концентрируются относительно тяжелые зерна минералов (сульфиды) с размером менее верхней границы гранулометрического класса. (Полез-

но попутно сравнить с площадью Таммела центральной Финляндии, где сера находится в концентрате LFF в легких мелких аутигенных сульфатных минералах, что отличает геологическую и седиментологическую обстановку этих площадей, см. рис. 4.4.)

На рис. 4.9 приведены карты распределения серы в точках опробования, отображенные: *а* – по CROCS-технологии; *б* – при использовании традиционных подходов GTK.

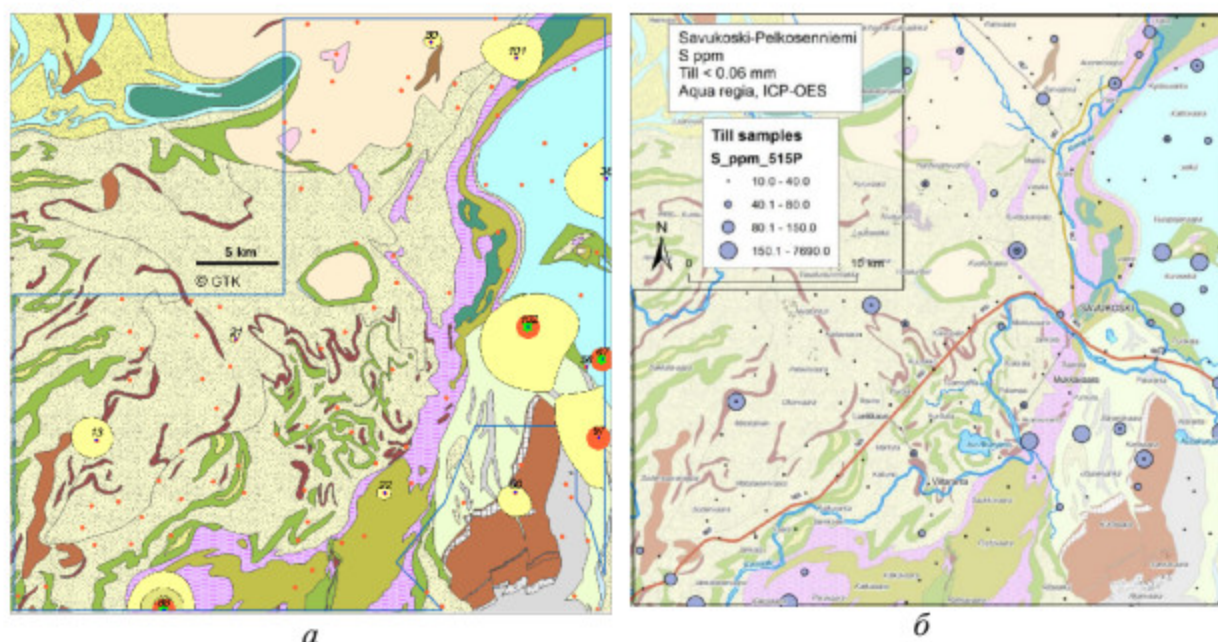


Рис. 4.9. Распределение серы в точках опробования на площади Савукоски: *а* – данные CROCS; *б* – данные GTK. На карте *а* коричневые пропорциональные кружки отображают данные по HF-концентратам, цветом в изолиниях приведены данные по LFF. Пробы, по которым выполнялась минералогическая заверка данных HF, отмечены зелеными звездочками (результаты заверки показаны на рис. 4.10).

Корреляция содержаний серы в одноименных точках отбора на картах *а* и *б* близка к нулю в отличие от ясной корреляции аномальных значений в ореолах HF (остаточные вторичные ореолы рассеяния) и ореолах LFF (наложенные вторичные ореолы), тем более с учетом минералогической заверки этих совпадений. Расстояние между точками опробования, а также между точками с тройным совпадением значений концентраций (данные по HF и LFF плюс положительная минералогическая заверка) на карте *а* составляет не менее 1 км, поэтому любая из тройных точек может выявить значительную по объему рудную минерализацию в коренных породах

Результаты минералогической заверки данных в ореолах HF, полученных по CROCS, представлены на рис. 4.10: в пробе 67 присутствует в основном пирит (фото 1, 2), в пробе #88 выявлены зерна пирита (FeS_2), халькопирита (CuFeS_2), пирротина (FeS), Ni-пирротина, арсенопирита (FeAsS), кобальтина ($(\text{Co}, \text{Ni})\text{AsS}$), маккинстриита ($(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S}$), миллерита (NiS), сфалерита (ZnS) (фото 3–10), в пробе 102 присутствуют зерна пирита, халькопирита, пирротина, герсфорфита ($(\text{Ni}, \text{Co})\text{AsS}$),

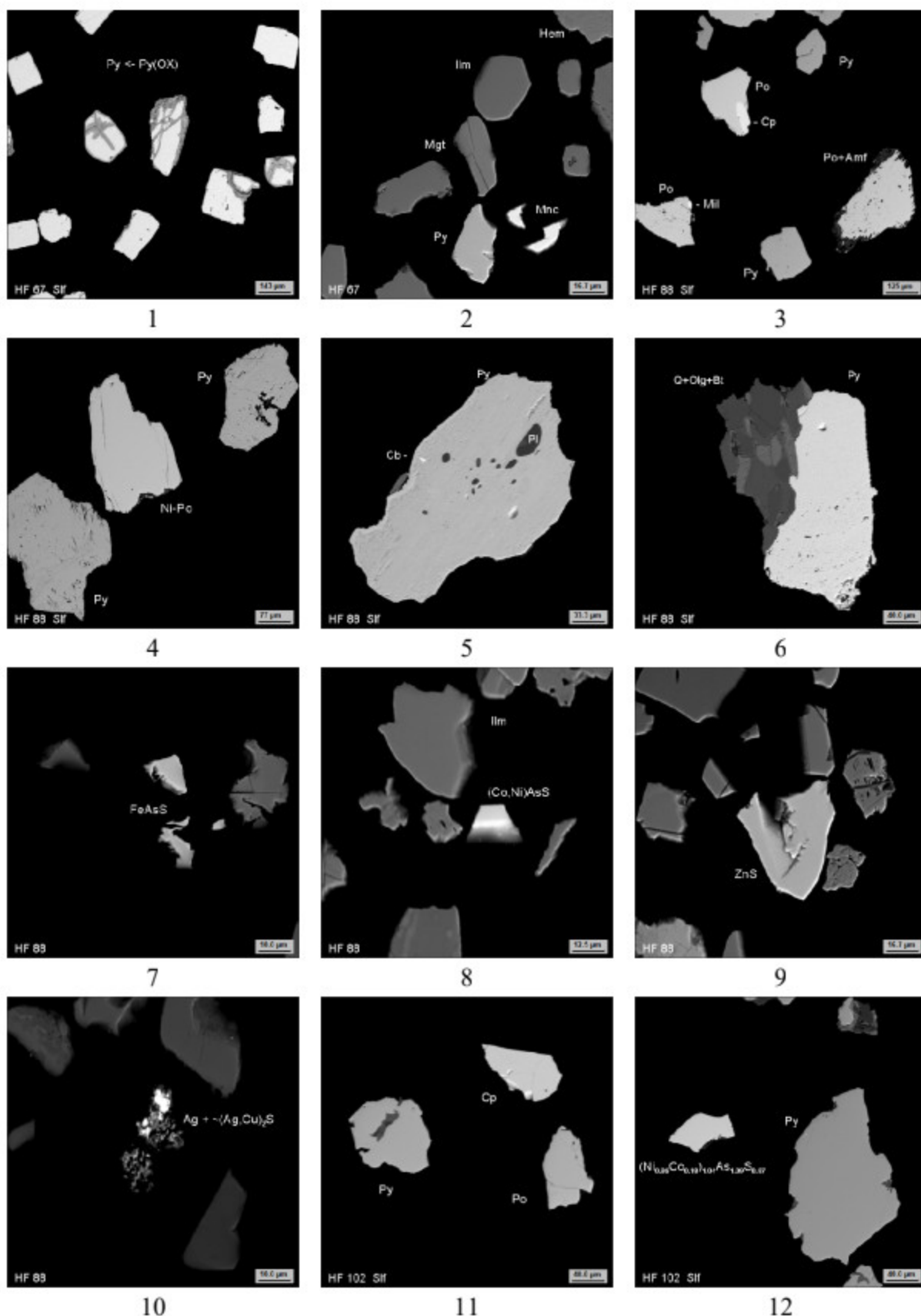


Рис. 4.10. Результаты минералогической заправки сульфидов на площади Саукоски (Amf – амфибол, Bt – биотит, Cb – кобальтин, Cp – халькопирит, Hem – гематит, Ilm – ильменит, Mgt – магнетит, Mil – миллерит, Mnc – монацит, Olg – олигоклаз, Pn – пентландит, Po – пирротин, Py – пирит, Q – кварц, Rut – рутил, ...OX – оксид) (см. также с. 111)

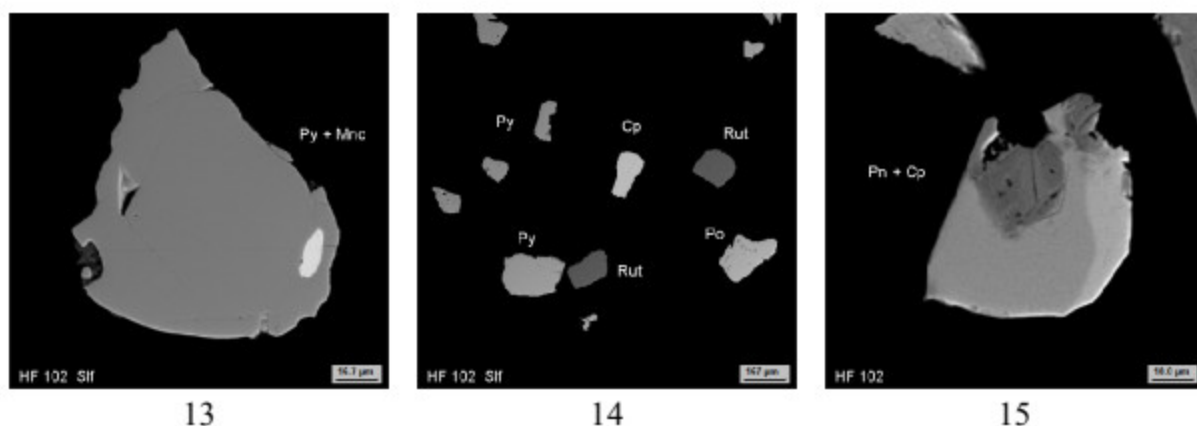


Рис. 4.10. Окончание

пентландита ((Fe,Ni)₉S₈) (фото 11–15). В пробе 97 высокие содержания серы выявлены в HF и LFF, но заверочные минералогические работы не проводились.

Кроме концентратов HF сера присутствует и в концентратах LFF в аутигенных минералах с анионными группами SO_4^{2-} и SO_3^{2-} , которые с большинством катионов образуют нерастворимые соединения. При гравитационном концентрировании проб (см. рис. 4.4) часть серы в составе легких и мелких аутигенных минералов, а также в составе аутигенных корок (см. рис. 3.1–3.8) попадает в LFF-фракции. Это находит отражение в выявлении наложенных вторичных ореолов, часть из которых окружает контрастные аномалии остаточных ореолов, тем самым увеличивая перспективы обнаружения рудной минерализации в коренном залегании.

Приведенные данные CROCS-технологии по HF и LFF прямо указывают на наличие зон сульфидной минерализации в коренных породах, что позволяет однозначно и позитивно оценивать поисковое значение серы, если корректно выбирать и отображать свойства руд в информационных репликах объектов. Выявление комбинированных информационных реплик остаточных и наложенных вторичных ореолов рассеяния – это весомый аргумент для продолжения работ по выявлению рудного объекта на изученной площади, тем более если в пробах с аномальными значениями концентраций наличие серы подтверждается минералогически (рис. 4.10).

Полученные данные позволяют оценить, насколько корректный выбор граничных значений гранулометрического класса влияет на итоговые результаты. Для этого следует вспомнить, что зависимость массы элемента в зерне (а в конечном счете и концентрация элемента в пробе)

пропорциональна третьей степени линейного размера зерна (см. (2.2), рис. 2.11). Следовательно, если верхняя граница аналитического гранулометрического класса (т. е. размерность верхнего сита) выбирается такой, что крупные зерна-хозяева элементов интереса, присутствующие в исходной пробе, не проходят через сито и не попадают в аналитическую навеску, то это очень сильно искажает концентрации, полученные по аналитической навеске по сравнению с реальной концентрацией элемента в точке отбора пробы. В этом случае самая важная информация по остаточным вторичным ореолам рассеяния будет отфильтрована (удалена) ситом и не найдет отражения в отчетных документах. Это первое негативное следствие, которое обеспечила методика работ, принятая в GTK. Ранее отмечалось, что работы GTK по традиционной схеме предусматривали выделение размерной фракции $< 63 \text{ }\mu\text{m}$, из которой формировалась аналитическая навеска 5 г. Судя по фото на рис. 4.10, размер зерен сульфидных минералов во многих пробах существенно превышает принятое по схеме GTK значение верхней границы размерного класса, а это, в силу указанного ранее, полностью дискредитирует результаты по сере, отображенные на карте GTK, из-за удаления из анализа относительно крупных зерен и гипертрофированного (по степенной функции третьей степени) занижения концентраций по крупным зернам сульфидов (см. рис. 4.9, б). Но кроме первого негативного следствия есть и не менее важное второе. В размерном классе проб $-63 \text{ }\mu\text{m}$ присутствуют как мелкие терригенные зерна минералов (индикаторы остаточных ореолов), так и мелкие легкие аутигенные минералы (индикаторы наложенных ореолов). По значениям концентраций относительно крупные фазы фракции $-63 \text{ }\mu\text{m}$ значительно перекрывают значения, полученные по легким мелким аутигенным фазам (причина та же: степенная функция с показателем 3). Получается, что по классу $-63 \text{ }\mu\text{m}$ ущербно отображаются остаточные ореолы из-за удаления зерен более $63 \text{ }\mu\text{m}$, а относительно крупные зерна в классе менее $63 \text{ }\mu\text{m}$ полностью перекрывают и практически уничтожают информацию от мелких зерен класса $-63 \text{ }\mu\text{m}$ и мелких аутигенных фаз, т. е. информацию по наложенным ореолам. Отыскать в многообразии самое неудачное значение верхней границы размерного класса трудно, но в GTK был выбран и принят наихудший вариант. Результат такого выбора виден на карте (см. рис. 4.9, а и б): аномально высокие значения по сере, на карте а отражающие остаточные и наложенные ореолы, да еще и заверенные минерало-

гически, не получили практически никакого отображения на карте б, созданной GTK. Забегая вперед отметим, что этот вывод справедлив для всех химических элементов, концентрации которых в исходных пробах невелики и для их фиксации требуется работа с представительными пробами большой массы (рис. 4.12, в–е).

Этими примерами на практике ясно проиллюстрированы теоретические утверждения, обоснованные в гл. 2: "измерения" (псевдоизмерительные действия) с использованием некорректной измерительной модели или без корректно выбранных граничных значений параметров рабочей области – это генерация случайных чисел. Эпоха алхимии закончилась, но алхимики молчаливо решили этого не замечать и продолжают воспроизводить иллюзии на своих картах.

4.2.8. Масса представительных проб

Масса представительных проб – это один из трех основных параметров, определяющих размер рабочей области (см. 2.3, 2.4). Корректный выбор массы представительных проб, отобранных на площади работ, с учетом других параметров, определяющих рабочую область, обеспечивает соизмеримость результатов измерений концентраций в каждой пробе по отношению к каждой другой пробе из всей группы проб на изучаемой территории. Представительность как синоним соизмеримости – это основа для создания информационных реплик объектов вместо тиражирования авторизованных художественных образов.

Масса представительной пробы – величина не абсолютная, которая для всех вариантов геологических и седиментологических обстановок и видов работ может быть прописана в инструкциях, поэтому перед началом сбора проб необходимо озаботиться обоснованием граничных значений рабочей области в течение *нуль-этапа*. Это пожелание для традиционалистов-поисковиков звучит как ритуальное заклинание членов секты, не имеющее отношения к практике работ. Вот как раз в этом контексте и интересно проанализировать разные мировоззрения на примере площади Савукоски и сравнить результаты (причины по заверениям финских коллег их не интересовали), полученные по рекомендациям рудного аудита и по эмпирике геохимических поисков GTK. Однако, чтобы не только констатировать факт сравнения результатов, но и понять причины появления результатов, отображенных на картах GTK, необходимо освоить теорию рудного аудита, без которой результаты будут восприниматься как некая данность, не подлежащая рациональ-

ному анализу: эмпирика GTK не имеет необходимых понятий, синтаксиса и семантики для выполнения объективных сравнений (см. диалог алхимика с химиком, приведенный в гл. 1).

На рис. 4.11 для случая $d = 19$, $n = 1$, $I = 1$ (см. (2.2)) цветами показаны рабочие области, в которых проводились работы по CROCS-технологии и по схеме GTK. Обобщенные данные на рисунке показывают, что рабочие области двух технологий значительно различаются: корректная информация об объекте, проходя через узкую щель рабочей области GTK (поиски через замочную скважину), трансформируется в то, что ни при каких допущениях нельзя относить к информационным репликам природных объектов. Из рис. 4.11 следует, что все множество значений в области диаграммы, заливкой серым цветом, за исключением области, ограниченной значениями $5 \text{ г} - 63 \text{ }\mu\text{m}$, – это область работы с непредставительными пробами по методике GTK. С позиций рудного аудита такие результаты не подразумевают дальнейшего практического использования.

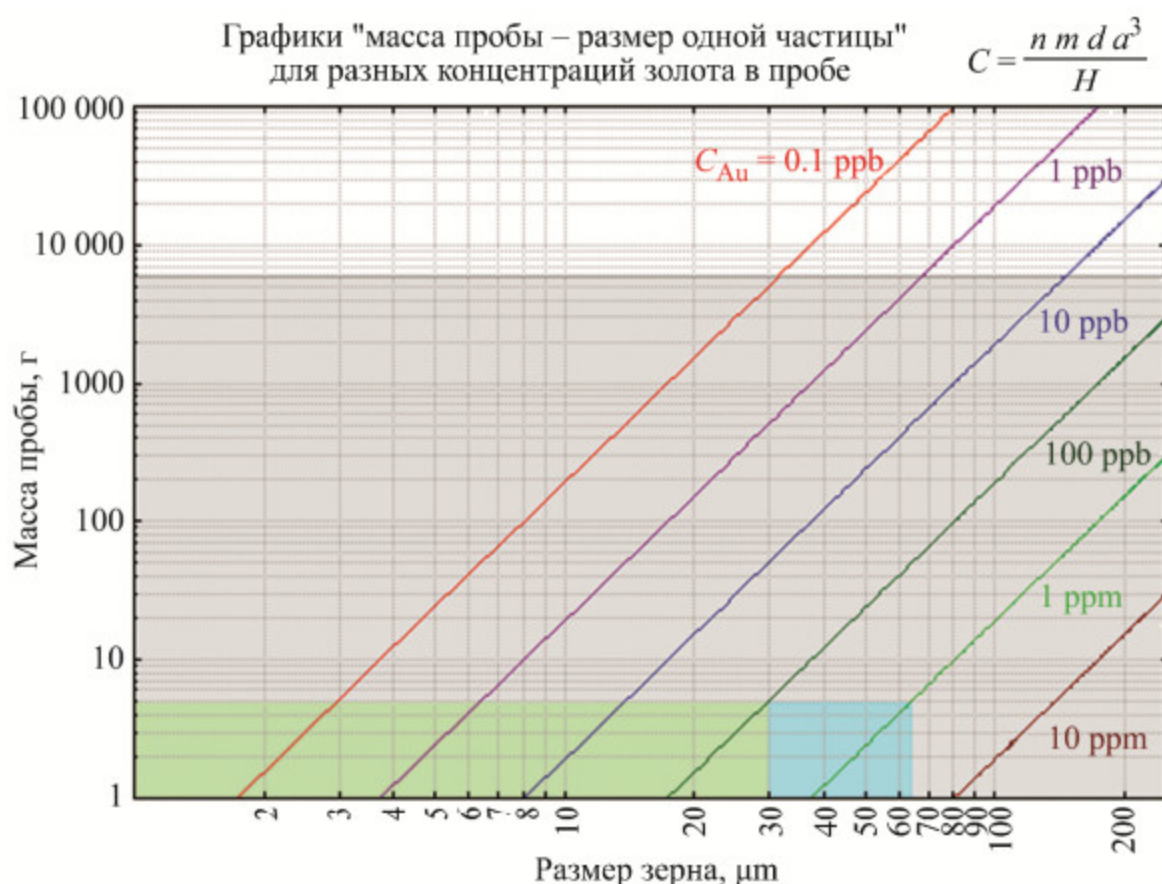


Рис. 4.11. Расчетные области корректного отображения концентраций золота по методике GTK (зеленое поле – по результатам работ, зеленое плюс голубое – расчетное поле по значениям $5 \text{ г} - 63 \text{ }\mu\text{m}$) и по CROCS-технологии (серая заливка по значениям $6000 \text{ г} - 250 \text{ }\mu\text{m}$)

Параметры рабочей области, используемые по схеме GTK, само-возникают стихийно без ведома исполнителей работ по факту выбора аналитической навески (5 г) и верхней границы гранулометрического класса (63 μm). Понятия рудного аудита "измерительная модель", "параметры рабочей области" (чувствительность работ, размер зерен, масса представительных проб) и расчет граничных значений параметров – этого идеология геохимических поисков GTK не предполагает и не использует. К чему это приводит на примере никеля, платины, золота, серы (и других элементов), показано на рис. 4.9 и 4.12, *а–е*.

4.2.9. CROCS-технология: реплики никеля, платины, золота

Никель. Сравнение данных по никелю (и хрому) (рис. 4.12, *а, б*) показывает относительно неплохое совпадение распределения концентраций никеля на картах, полученных по CROCS-технологии и по схеме GTK на площади Савукоски. Причины этого уже обсуждались ранее: сравнительно высокие концентрации никеля фиксируются даже в небольших пробах и даже в тех случаях, когда крупные зерна минералов-носителей элемента размером +63 μm отфильтрованы и удалены из аналитических навесок проб, о чем уже упоминалось ранее. При сравнительно высоких концентрациях металлов в небольших пробах 5 г концентрация обусловлена за счет наличия некоторого количества зерен минералов-носителя никеля размером –63 μm , что в какой-то (неопределенно какой) степени правдоподобия находит отражение на картах рис. 4.12, *а* и *б*. Совпадение структуры распределения никеля недостаточно высокое, поскольку далеко не все пункты с повышенными значениями концентраций по HF (остаточные ореолы), совмещенные с LFF-данными (наложенные ореолы), совпадают с точками аномальных значений на карте рис. 4.12, *б* (хотя на карте GTK число точек опробования увеличено). Причины этого также понятны, если обратиться к рис. 4.12, *а*.

Кроме этого причины расхождения обусловлены тем, что существенная доля никеля в пробах присутствует в LFF-концентрате (аутигенные частицы и корки), а эта доля с учетом размера рабочей области, используемой GTK, в значительной мере затухивается и перекрывается вкладом, обусловленным присутствием терригенных зерен никелевых минералов во фракции –63 μm (аналогичное уже обсуждалось в примере с серой). Таким образом, с позиций рудного аудита совпадения и несовпадения структуры распределения никеля на площади Савукоски, читающиеся на картах рис. 4.12, *а* и *б*, находят ясные объяснения. Нет

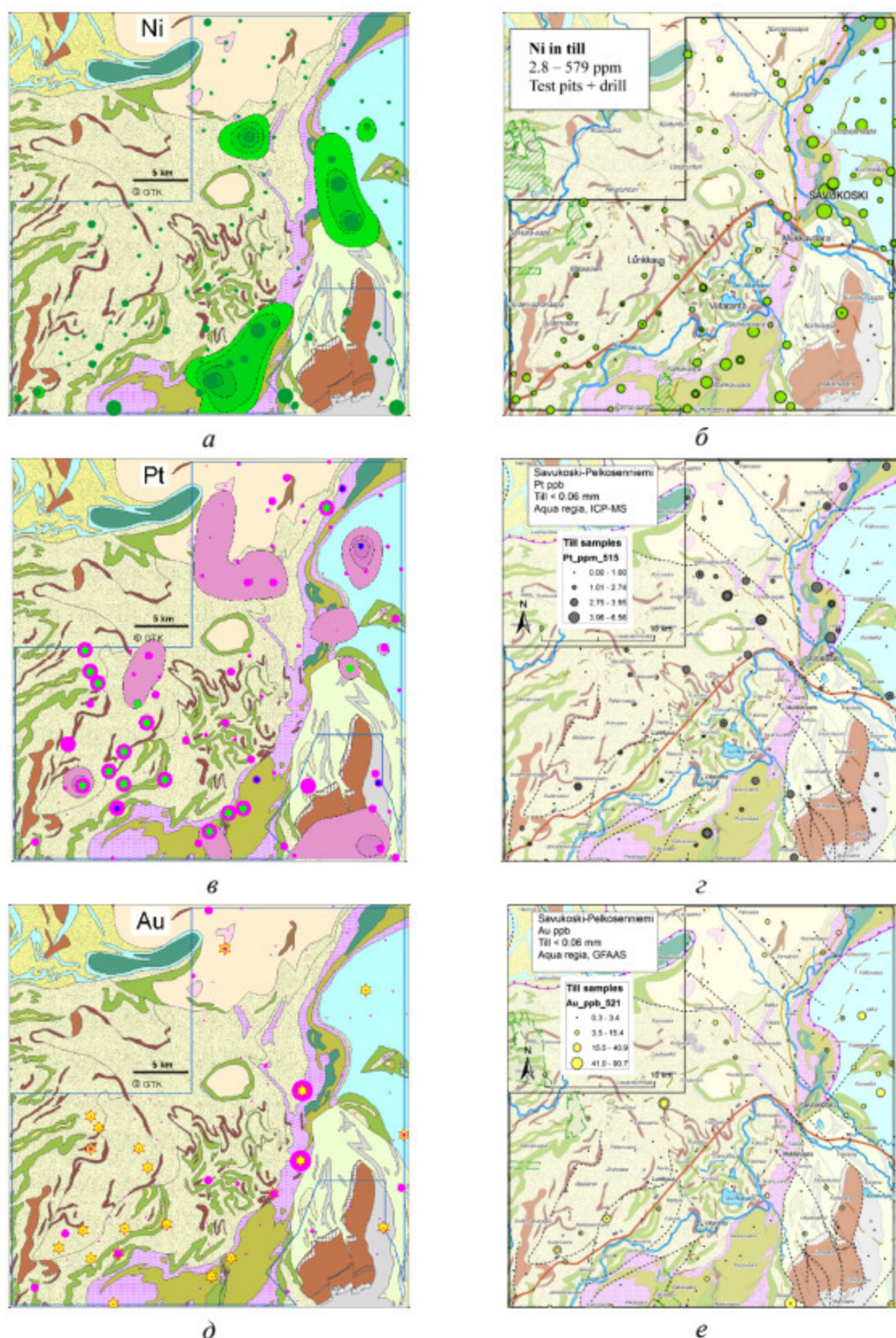


Рис. 4.12. Распределение химических элементов в точках отбора проб:
 а, в, д – данные CROCS-технологии; б, г, е – данные GTK (пропорциональные
 кружки – элементы в HF, поля внутри изолиний – элементы в LFF, звездочки
 со светлой заливкой – положительные результаты минералогической заверки в HF,
 темная заливка звездочек – отрицательная заверка результатов,
 отсутствие звездочек – заверочные работы не выполнялись)

оснований для сомнений в том, что CROCS-карты гораздо более корректно отображают распределение никеля на площади, поскольку совпадают аномалии двух типов HF и LFF, заверенные минералогией, и комбинированные аномалии имеют логичную геологическую привязку к коматиитовому поясу с массивами ультраосновных пород, имеющих никелевую специализацию.

Платина и золото. Сравнение данных, полученных по CROCS-технологии и по схеме GTK по платине и золоту (рис. 4.12, в, г и д, е), позволяет констатировать факт практически полного отсутствия корреляции распределения концентраций этих элементов в одноименных точках опробования на площади Савукоски. Цель работ: сравнение результатов, полученных по CROCS-технологии и по схеме GTK, состоялось, но ценность этой процедуры невелика без объяснения причин отсутствия корреляции, а они очевидны – это эмпирика схемы GTK: схема обеспечивает выполнение работ, но не предполагает получения (измерения) корректной информации. Справедливость этого вывода хорошо выражена на картах распределения платины и золота. В терминах CROCS (и теории измерений) на картах GTK отображены случайные числа, выдаваемые за структуры распределения золота и платины (сравни с рис. 3.1). Выбор бинарный: либо корректные измерения, либо догмы пантеизма, третьего не дано (см. гл. 2 и 3).

С позиций рудного аудита конкретные причины некорректного отображения структур распределения золота и платины методикой GTK закономерны, предрешены и легко объяснимы. Металлы, фоновые содержания которых в рыхлых отложениях невелики ($10^{-8} \dots 10^{-11}$, миллиграммы – доли миллиграммов на тонну), требуют высокой чувствительности работ и больших масс представительных проб, т. е. размер рабочей области должен выбираться достаточно большим, чтобы выполнять корректные измерения (см. рис. 4.12, а), а это в свою очередь потребует произвести правильный выбор всей технологии работ от *нуль-этапа* до сбора проб, полевой и лабораторной пробоподготовки, измерений концентраций, формирования отчетных документов и итоговой оценки КС.

В контексте анализа структур распределения золота и платины на площади Савукоски, а также в контексте отображения комбинированных реплик остаточных и наложенных ореолов существенно обратить внимание, что платина в отличие от золота фиксируется в аномалиях

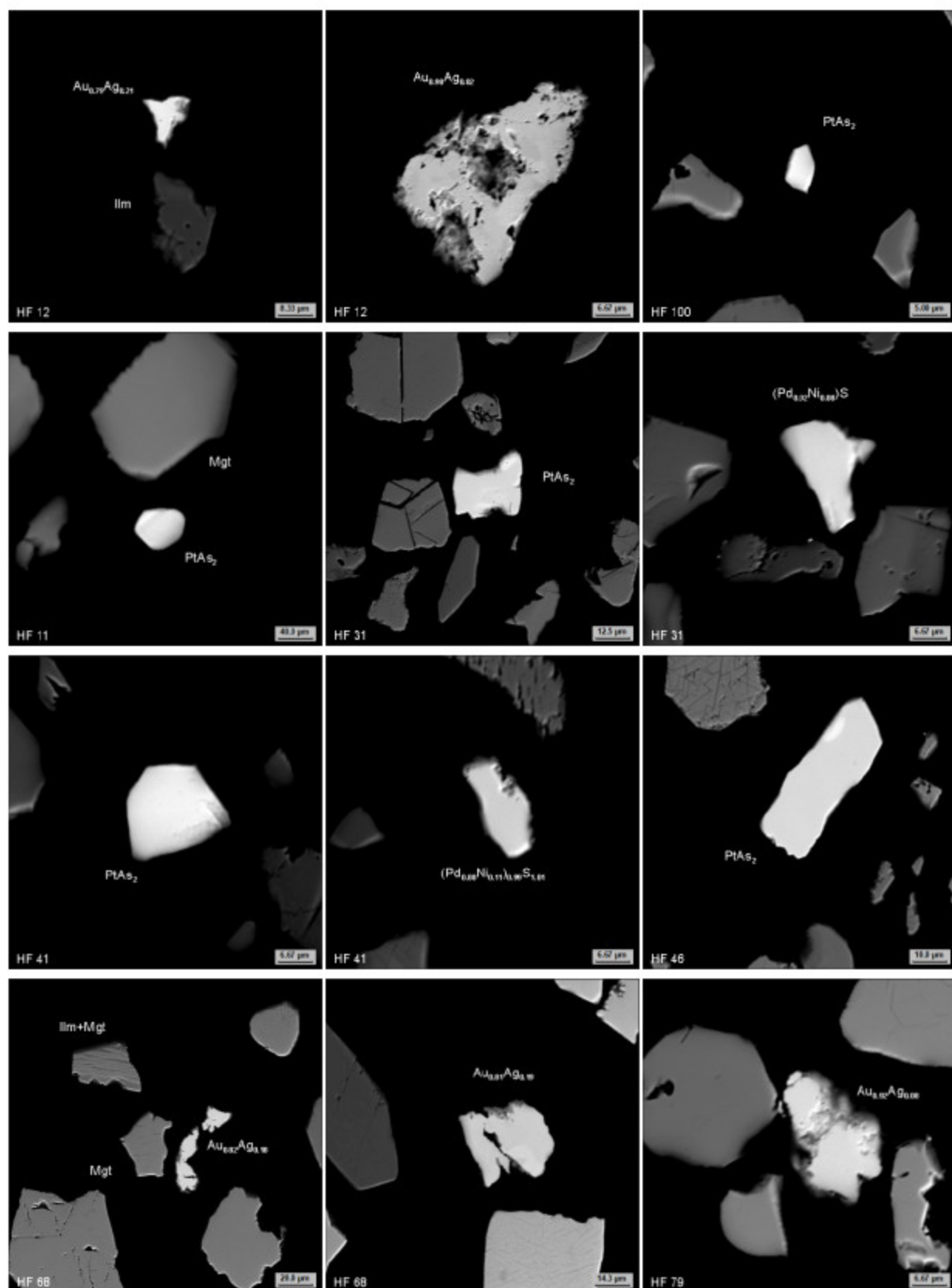


Рис. 4.13. Минералы золота, палладия и платины в некоторых пунктах минералогической заправки (Au,Ag – золото, PtAs₂ – сперриллит, (Pd,Ni)S – высочкит, Mgt – магнетит, Ilm – ильменит. Кроме этих минералов платиноидов в других пробах обнаружены Pd₅Sb₂ – стибнопалладинит, (Pt,Ni) S – брэггит, Pd₃As – гуанглинит)

не только HF, но и LFF. Факт имеет логичное объяснение: минералы платины (и палладия) за исключением арсенидов, некоторых сульфидов и антимонидов и самородных минералов относительно легко разлагаются и растворяются в субаэральных гипергенных условиях и после переотложения закрепляются в аутигенных фазах, формируя наложенные вторичные ореолы. Самородное золото более устойчиво к выветриванию, хорошо сохраняется в рыхлых осадках в виде терригенных зерен, формируя остаточные ореолы (это же справедливо и для хрома и редкоземельных минералов: хромит и фосфаты редких земель устойчивы в условиях гипергенеза, см. рис. 4.4). Эти факты находят отражение на картах CROCS и подтверждаются при минералогической заверке золота и платины в пробах (рис. 4.13), если заверочные работы выполняются по технологии "ppm-минералогия" с чувствительностью на эти металлы на уровне $10^{-9} \dots 10^{-10}$ по фазовому эквиваленту концентраций.

По отношению к золоту, платине и другим платиноидам справедлив уже прозвучавший вывод по никелю: нет оснований для сомнений в том, что CROCS-карты корректно отображают структуру распределения платины и золота, которая еще и заверена минералогией. В нескольких пунктах опробования аномалии HF и LFF накладываются, что в сочетании с минералогическими данными обосновывает перспективы обнаружения рудной минерализации в коренном залегании.

4.2.10. CROCS-технология: выводы и сравнительные оценки

Общий для всех химических элементов методический вывод: чтобы получать корректные информационные реплики структур распределения химических элементов вторичных ореолов рассеяния на исследуемой площади, необходимо отказаться от использования традиционных геохимических методик GTK и перейти к использованию технологий рудного аудита. Старая парадигма устарела: это утверждение и этот факт проверены экспериментально. Будущее уже наступило, но его в GTK (и, кстати, в Роснедра – Росгеологии тоже) предпочли не заметить.

Как упоминалось ранее, специализированные совместные работы на площади Савукоски по комбинированным репликам вторичных ореолов рассеяния преследовали две цели: 1) выполнить оценку металлогенического потенциала территории; 2) по результатам работ сравнить идеологию и эффективность геохимической методики GTK и CROCS-технологии, включая интегральные стоимостные оценки. То, что получили в итоге, показано далее.

4.2.11. Металлогения

Металлогенические перспективы площади Савукоски по данным CROCS-технологии показаны на рис. 4.14. Полученные результаты позволяют выполнить металлогеническое районирование и получить предварительные оценки рудных перспектив площади на различные виды полезных ископаемых. К сожалению, из-за некорректного с точки зрения CROCS-технологии выбора сети опробования (сеть директивно предложена соисполнителем GTK, см. рис. 4.6) выполнить корректные ресурсные оценки невозможно, хотя такой шанс был, несмотря на уровень "общегеологического изучения территорий" и региональный масштаб работ. Тем не менее полученные данные позволяют ранжировать результаты и обосновать категории и последовательность будущих работ для выявления рудных объектов различных рангов.

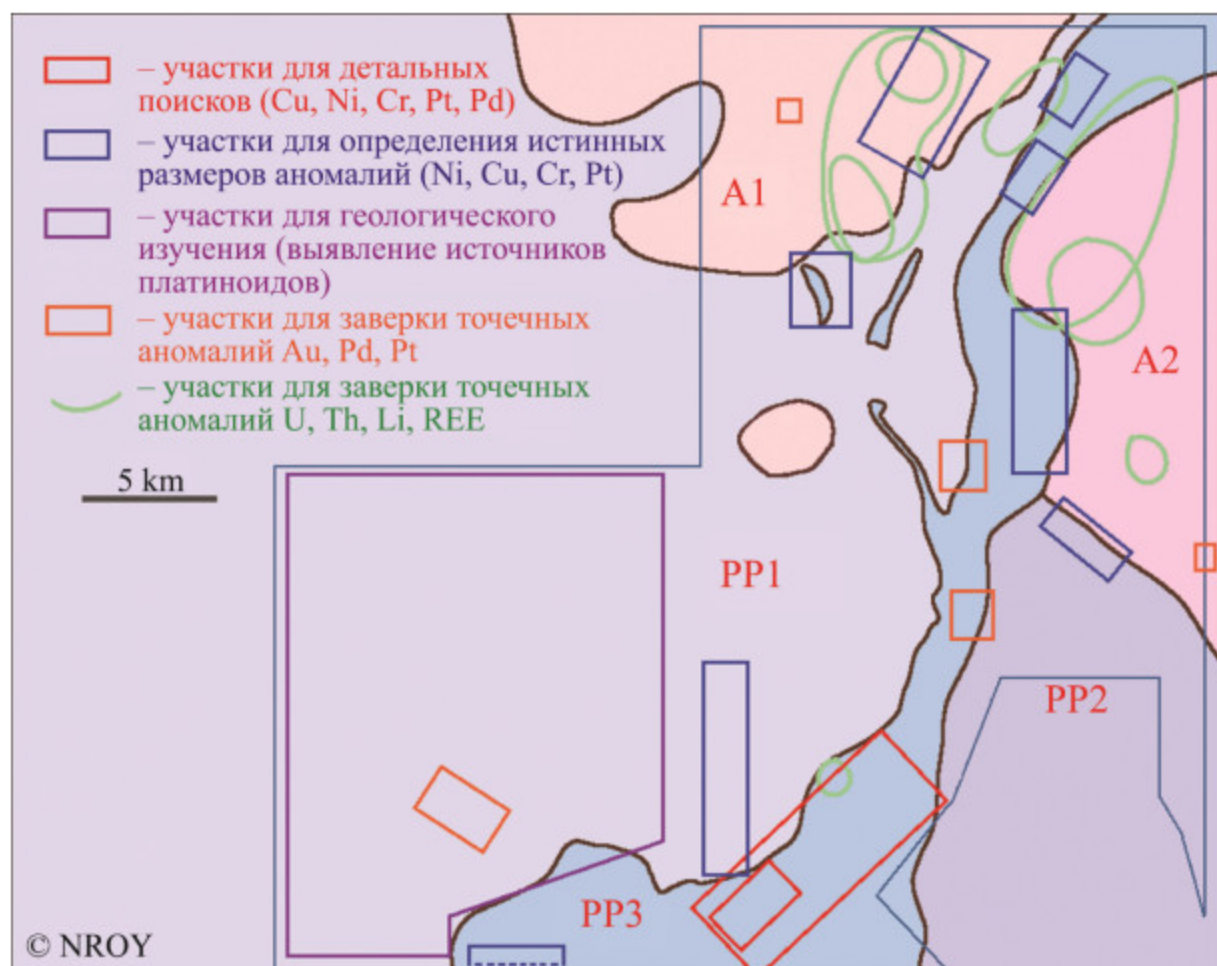


Рис. 4.14. Схема металлогенического районирования площади Савукоски.

Основные геотектонические домены: A1 и A2 – архейские;
PP1, PP2, PP3 – палеопротерозойские; PP3 – коматиитовый пояс
(перидотитовые коматииты, Fe-толеитовые базальты,
графит-сульфидные парасланцы)

Ничего подобного GTK в своем отчете не приводит (только карты на рис. 4.12, б, г, е), ограничившись в заключение фразой: "Ясно видно, что, основываясь на методах, примененных в данном исследовании, возможно обнаружить перспективные площади для выполнения поисковых работ на Сг и Ni". Ничего более нельзя заключить по данным GTK. Этим выводом GTK явным образом подтверждает преимущества технологии CROCS, предоставившей несоизмеримо больший объем поисковой хорошо структурированной и осмысленной информации по гораздо большему числу рудных элементов (рис. 4.14). По сути, по CROCS-технологии были выполнены полноценные геохимические поисковые работы регионального масштаба и в качестве итога представлена металлогеническая карта с возможностью выполнения оценки ресурсов по различным рудным компонентам.

4.2.12. Стоимостные оценки

Технологии рудного аудита позволяют выполнять ретроспективные оценки качества и общей стоимости работ по проекту (постпроектный аудит, см. гл. 1), поскольку при создании информационной реплики объекта используется КС в качестве меры соответствия информационной реплики природному оригиналу (см. гл. 2).

Применяя параметры оценки КС к данным GTK (собственных критериев и параметров оценки полноты и качества результатов в методике GTK нет), следует заключить, что для группы рудных элементов (сульфиды никеля, меди, оксиды хрома) значение коэффициента соответствия составляет не более 40 %, а для благородных металлов (золото, палладий, платина) не превышает 1 %. Хорошим независимым подтверждением этого заключения для золота являются собственные данные GTK, полученные в предыдущие десятилетия на всей территории Финляндии (см. рис. 4.5), и, как следствие, GTK нужно избавиться от иллюзий, что реальный рудный потенциал по золоту достоверно определен и не подлежит пересмотру. Вполне уместно инициировать новые работы по оценке рудного потенциала на благородные металлы на всей территории Финляндии на основе CROCS-технологии.

Эти цифры на формальном уровне позволяют оценить эффективность методики GTK для выявления рудных объектов, а также эффективность инвестиций в подобные проекты. Если бы финансирование работ осуществлялось не по предварительным сметным расчетам, а по полноте и качеству фактически полученных результатов (по КС), то ра-

боты на площади Савукоски по меди, никелю и хрому стоили бы на 60 % меньше, а по благородным металлам – на 99 %. Для инвестора это означает, что он при окончательном расчете с исполнителем за выполненные работы с таким значением КС может выплатить в 2 раза меньше начальной сметной стоимости. В этом контексте важно указать, что подобные убыточные проекты вовсе не принимались бы к исполнению (несмотря на их коррупционную привлекательность), если бы при составлении проекта выполнялся предпроектный аудит, который по значению КС формирует корректную технологию работ и обеспечивает оптимальное соотношение между полнотой и качеством результатов и стоимостью работ по проекту.

4.3. Информационные реплики фазового уровня

В первом приближении "шлиховую съемку", или "шлиховые поиски", можно было бы сопоставить с получением информационных реплик фазового уровня, однако это сопоставление некорректно, поскольку цели, способы достижения целей и результаты различны. Различны также логика, техника и инструменты при "поисках" руд и "отображении" природных объектов.

4.3.1. Реплики ореолов рассеяния минералов-спутников алмазов

В соответствии с идеологией рудного аудита (см. рис. 2.10) на метрологическом базисе конструируется технология работ с заданным значением КС, звенья цепи наполняются инструментами, материалами и персоналом соответствующей квалификации, что создает основу для получения информационной реплики объекта.

Этот комплекс условий и действий применительно к задачам по отображению остаточных ореолов рассеяния алмазоносных объектов на исследуемой территории реализуется в технологической цепочке сбора и обработки проб, состоящей из нескольких звеньев, которым соответствуют последовательные этапы работ:

I. Выбирается измерительная модель объекта.

II. Выбираются параметры рабочей области (см. 2.4) и рассчитываются граничные значения параметров (2.2).

III. Выбираются технологические звенья с необходимыми коэффициентами трансляции (см. 2.6), сочленение которых в единую технологическую цепь обеспечит заданное качество (значение КС) итоговой информационной реплики. Обосновывается технологический регламент работ и выполняются работы.

IV. После завершения работ выполняется оценка качества и эффективности работ всего цикла, осуществляется интерпретация результатов.

На материале тест-пробы ОФ-3 (Якутия) удобно показать выполнение процедур, перечисленных в I–IV.

Этап I. Цель работ состояла в выявлении и документации минералов-спутников алмаза и прежде всего пиропов, хромдиопсидов и пикроильменитов для разработки эффективных производственных схем сбора и обработки проб в ходе создания информационных реплик. (*Справка:* плотности алмаза, пироба и хромдиопсида близки, поэтому все, что касается параметров рабочей области для пироба, с хорошим уровнем приближения может быть распространено на алмаз и хромдиопсид.)

Для данной задачи безальтернативно может быть применена измерительная модель типа "куча" (см. 2.3), поскольку изначально определен фазовый уровень отображения природного объекта. При этом полезно помнить, что фазовый уровень не только не отрицает характеристику объекта на химическом уровне, но и использует элементный уровень и концентрации химических элементов при установлении фазовых соотношений.

На этом же этапе формулируются требования к качеству отображения информации при создании информационной реплики объекта, т. е. должен быть назначен коэффициент соответствия. Если значение КС будет слишком высоким и превышать 95 %, то выбор измерительной модели и всех элементов технологии отображения может превратиться в очень непростое самостоятельное и дорогостоящее научное исследование до начала каких-либо производственных измерений.

Для примера с пробой ОФ-3 в качестве требований технического задания было установлено: чувствительность на минералы-спутники – 0.03 г/т, КС более 80 %.

Этап II. Чтобы сориентироваться в порядках величин параметров рабочей области для реплики ореола рассеяния пироба и других минералов-спутников, целесообразно выполнить несколько расчетов по (2.2), варьируя значениями переменных, которые приведены в табл. 4.1 (M – масса пробы; a – размер зерен пироба, используемый для оценок; d – плотность; C – массовая концентрация n зерен минерала с плотностью d и размером a в пробе).

Из таблицы следует, что для зерен алмаза и минералов-спутников при обработке двадцатилитровых проб (около 56 кг или даже укрупненных проб массой 200 кг) для последующего выявления и документации

Таблица 4.1

Расчетные значения параметров рабочей области

Минерал	M , кг	a , μm	n , шт.	d , г/см ³	C , г/г
Пироп (алмаз, Сг-диопсид)	56 (~20 л)	1000	1	3.5	0.06
	200	1000	1	3.5	0.02
	0.165	30	1	3.5	0.0006
	0.005	30	1	3.5	0.02
Пикроильменит	0.165	30	1	4.6	0.0008
	0.005	30	1	4.6	0.025

Примечание. Средний размер зерен 30 μm обоснован измерениями, которые будут обсуждаться далее.

зерен размером 1 мм и более порог обнаружения минералов гораздо выше (чувствительность ниже), чем при работе с зернами 30 μm в пробах массой сотни или десятки граммов. В общем случае чувствительность работ с мелкими гранулометрическими фракциями в пробах массой даже первые десятки граммов на порядки выше, чем при традиционных методах поисков, использующих фракции более 1 мм в пробах массой в десятки или сотни килограммов.

С учетом данных, приведенных в табл. 4.1, и гранулометрического состава пробы ОФ-3 (табл. 4.2) рабочая область была ограничена фракцией < 56 μm , что соответствовало чувствительности для пироба (алмаза, хромдиопсида) 0.02 г/г. Фракция пробы ОФ-3 < 56 μm массой 5 г была полностью использована в работе.

Таблица 4.2

Гранулометрический состав пробы ОФ-3 (165 г)

Фракция, μm	> 500	500–125	125–56	< 56
ОФ-3, масса, г	24	115	21	5

При этом полезно обратить внимание на то, что чувствительность работ 0.02 г/г имеет отношение только к фракции < 56 μm , а не ко всей пробе ОФ-3 массой 165 г. По отношению ко всей пробе чувствительность работ составит 0.0006 г/г, что на два десятичных порядка выше того уровня чувствительности, который применяется в ходе традиционных работ при поисках алмазов (табл. 4.1).

Этап III. Для производства утилитарного конечного продукта с заданными свойствами (информационной реплики) требуется сконструировать технологию работ, т. е. выбирать технологические звенья с необходимыми коэффициентами трансляции (см. 2.6), выполнить их сочленение в единую технологическую цепь на основе метрологии, что обеспечит заданное качество (значение КС) информационной реплики.

Критические значения основных параметров рабочей области, ограничивающие область корректных измерений для данной задачи (см. 2.4 и рис. 2.6), на предыдущем этапе были выбраны следующими: плотность минералов – $\sim 3.5 \text{ г/см}^3$, аналитический гранулометрический класс – $< 56 \text{ }\mu\text{m}$, чувствительность работ по фазовому эквиваленту концентрации – 1 зерно (алмаз, пироп, хромдиопсид), что эквивалентно 0.02 г/т, представительные массы навесок – кратны 5 г.

Для конструирования технологии и выбора элементов технологической цепочки с необходимыми параметрами полезно выполнить несколько предварительных оценок.

Звено 1. В 5 г фракции $< 56 \text{ }\mu\text{m}$ при среднем размере зерен порядка $30 \text{ }\mu\text{m}$ содержится почти 53 млн зерен, причем лишь одно из них может быть минералом интереса. Следовательно, при сухой расситовке пробы в ячейках сита $56 \text{ }\mu\text{m}$ может задержаться некоторое количество зерен, что снизит коэффициент трансляции полезной информации на этом элементе технологической цепи. Если допустить, что потери составят 0.01 % (5300 зерен), то коэффициент трансляции составит 99.99 %, хотя эту цифру легко уточнить, выполнив лабораторные эксперименты для определения потерь расситовки. Таким образом, определено первое технологическое звено для получения информационной реплики с коэффициентом трансляции 99 % – сухая расситовка и определен инструмент – сито $< 56 \text{ }\mu\text{m}$.

Звено 2. Следующим звеном логично предположить выполнение концентрирования минералов-спутников в концентраты небольшой массы, поскольку прямая диагностика именно пиропов, пикроильменитов, хромдиопсидов (а не просто гранатов, пироксенов и оксидов железа-титана) оптическими или любыми другими методами среди 53 млн зерен других минералов с размером зерен около $30 \text{ }\mu\text{m}$ – это задача, не имеющая практической реализации. Даже если пофантазировать и попытаться применить методики автоматической модальной минералогии с диагностикой фаз по рентгеновским спектрам методом сравнения с эталонными спектрами электронных библиотек (или по суррогатам химического состава), то, возвращаясь из облака фантазий, будет необходимо признать, что и этот вариант не имеет практической реализации. (*Справка:* даже если время анализа одного зерна составит только 0.03 с, то время непрерывной съемки всех зерен составит 18 сут. Кроме того, метод эталонных спектров метрологически недостаточно обоснован и

вносит непредсказуемые искажения при диагностике реальных фаз, что делает КС неопределенным и переводит результат из категории "информационная реплика" в категорию "художественный образ". В контексте аксиоматики теории измерений гл. 2 следует заключение: измерительная модель неадекватна объекту измерений и решаемой задаче, "измерительные действия" продуцируют случайные числа.) Эта аргументация приводит к заключению, что вторым звеном технологии должно быть сокращение материала исходной пробы с получением концентрата, причем значение коэффициента трансляции этого технологического звена не должно превышать заданного значения КС для всей технологической цепи.

Необходимость сокращения исходной пробы вызывает следствия и вопросы, требующие анализа. Выход рабочей фракции из исходной пробы для последующего анализа индивидуален для каждой пробы, поэтому выбор коэффициента сокращения и инструментов концентрирования – это непростая задача, особенно если требуется выбрать коэффициент сокращения не для единичной пробы, а для достаточно большой группы проб. Это потребует принимать во внимание такие внесистемные (за пределами метрологии) параметры, как производительность и экономическая эффективность: всегда можно теоретически спроектировать безупречную идеальную технологию, которая не сможет использоваться в практической работе из-за трудоемкости, низкой производительности и дороговизны получения утилитарного конечного продукта. Именно с этим придется столкнуться при выборе коэффициента сокращения исходной пробы. В этой связи будет нелишне предположить вариант способа диагностики минералов концентрата для последующего технологического звена, хотя сам концентрат еще только предстоит получить (десятки или сотни тысяч зерен размером $< 56 \mu\text{m}$).

Используя корректные системы автоматической классификации и группировки минералов по рентгеновским спектрам (комплекс ImSca различных версий), по технико-экономическим показателям практически выполнять анализ для 5–15 тысяч зерен концентрата фракции $< 56 \mu\text{m}$, суммарная масса которых будет около 5...7 мг. В этом случае будет достигаться заданный уровень качества работ и приемлемая для геологических производственных работ производительность: десятки проб в день, если используется комплекс ImSca 3.2.

Если из исходной пробы 165 г была получена фракция $< 56 \mu\text{m}$ массой 5 г (сокращение в 33 раза), которая гравитационным методом еще

сокращена, например, до 0.05 г (сокращение в 100 раз), то полученный концентрат будет содержать 114 285 зерен размером около 50 μm (сквозной коэффициент сокращения 3300). Здесь важно обратить внимание на то, что при гравитационном концентрировании происходит потеря части зерен интереса: при коэффициенте гравитационного сокращения до $n \cdot 1000$ могут быть потеряны 5 или 10 % зерен размером 50 или 30 μm соответственно (см. рис. 4.3), поэтому множитель 0.95 или 0.90 должен учитываться в итоговом значении КС. Если принят оптимальный для поточных производственных работ вариант анализа проб с диагностикой 10–15 тысяч зерен в концентрате 0.05 г, то это коснется только 10 % зерен от числа зерен, присутствующих в концентрате (144 285 зерен), что ухудшит чувствительность работ практически в 10 раз – с 0.003 до 0.03 г/т. Здесь снова важно обратить внимание на то, что, несмотря на факт ухудшения чувствительности (если это допустимо по условиям задачи), за счет анализа не всех, а только части зерен концентрата, коэффициент трансляции информации элемента технологии "гравитационное концентрирование" не изменится и не произойдет никакого изменения итогового значения КС. Если же по условиям задания уменьшать количество проанализированных зерен концентрата нельзя (т. е. понижать чувствительность), то придется смириться с необходимостью увеличивать время обработки проб и анализировать такое количество зерен, которое обеспечит заданную величину чувствительности. По условиям задачи, сформулированным на первом этапе, чувствительность работ задана 0.03 г/т, поэтому в данном конкретном случае анализ только 10 % зерен концентрата допустим.

С этих позиций по-детски наивны вопросы, которые обязательно задают менеджеры (слово-то богомерзкое какое!): "А сколько проб в день обрабатываете и сколько стоит одна проба?" Производительность и стоимость определяются заданными значениями чувствительности и КС, но не СУСН и СНОР: все давно пора поставить с головы на ноги или человечество стараниями менеджеров уже обречено на тупиковый путь развития?

Выбор инструмента гравитационного концентрирования – это отдельная техническая задача, которую крайне сложно решать на практике. Для подавляющего большинства установок нет сведений аналогичных тем, которые приведены на рис. 4.3, и зависимость величины потерь от коэффициента сокращения для различных вариантов питания в

качестве паспортной характеристики оборудования отсутствует. Это делает невозможной оценку коэффициента трансляции информации традиционного оборудования в качестве элемента технологической цепи и вынуждает производить неочевидные манипуляции при оценке качества работ или отказываться от получения информационных реплик, ограничиваясь "художественными образами" вместо них. Новые технологии предъявляют новые требования к оборудованию.

Для обсуждаемого примера с пробой ОФ-3 использовался инструмент "Маг-3" NROY с паспортной характеристикой "потери – коэффициент сокращения", показанной на рис. 4.3 для золота, но очень близкие графики получаются и для акцессорных (именно акцессорных) силикатов, оксидов и других минералов плотностного интервала $3.0 \dots 4.5 \text{ г/см}^3$.

Для двух сопряженных звеньев 1 и 2 технологии значение КС составляет $0.99 \cdot 0.92 = 0.91$, где величина 0.99 – коэффициент трансляции звена "сухой рассев", а 0.92 – коэффициент трансляции звена "гравитационное сокращение" по графику на рис. 4.3.

Звено 3. В предыдущих звеньях-этапах 1 и 2 были подготовлены концентраты для последующей инструментальной документации. На следующем этапе зерновые концентраты размещаются на специальную подложку либо в "насыпку" (удобны для прямого выявления алмазов), либо в варианте монослойных полированных препаратов для растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа с использованием специализированных аналитических комплексов.

Ранее отмечалось, что модальная минералогия с рентгеноспектральной диагностикой фаз по спектрам эталонных электронных библиотек (или по суррогатам химического состава) не отвечает требованиям, обеспечивающим получение информационных реплик. В отличие от методов модальной минералогии более общий принцип классификации и группировки фаз по рентгеновским спектрам в объектах типа "куча", используемый в программно-аналитическом комплексе ImSca-v3.x, в настоящее время не имеет альтернативы, поскольку неотягощен базовыми ограничениями автоматической модальной минералогии.

Среди многих других важно отметить несколько основных преимуществ комплекса ImSca при решении стандартных и специфических задач, а также при решении достаточно простой для возможностей системы ImSca задачи по отображению ореолов минералов-спутников алмазов:

1. Без использования какой-либо предварительной эмпирической информации, приводящих данных и спектров эталонов выделяются, классифицируются, группируются и документируются минералы (точнее, объекты) как в индивидуальных, так и в агрегатированных минеральных зернах с различными вариантами сочетаний минералов по особенностям их химического состава и некоторых физических свойств. Выполняется это на надежной метрологической основе и обеспечивает классификацию и подсчеты значений свойств тех минералов и минеральных агрегатов, которые действительно присутствуют в концентрациях, в противоположность сопоставлениям с данными о библиотечных спектрах или с суррогатами химического состава, которые с неизвестной долей соответствия извлекаются из эталонных библиотек (пироп в пробе и пироп эталона – не близнецы-братья).

2. Большое число вариантов (десятки) выделения групп зерен, фрагментов зерен и агрегатированных зерен и других объектов по плотностным диапазонам (точнее, по среднему атомному номеру – Z_{cp}) и без выделения плотностных диапазонов, по различным сочетаниям отдельных плотностных диапазонов как в пределах растра, так и внутри произвольных контуров (полигонам) внутри растра. Каждый вариант выделения – это возможность решения самостоятельной смысловой задачи.

3. Большое число вариантов (десятки) сбора рентгеноспектральной информации по выделенным группам зерен, фрагментам зерен, агрегатированным зернам и другим объектам по плотностным диапазонам и без выделения плотностных диапазонов по различным произвольным сочетаниям отдельных плотностных диапазонов как в пределах всего растра, так и внутри произвольных контуров (полигонам) внутри растра. Сбор информации возможен в каждом из перечисленных вариантов по одной точке анализа на объект (зерновой или плотностной), по равномерной или неравномерной сетке с предустановкой величины шага по двум направлениям, есть возможность автоматического изменения шага сетки (плотности отбора информации) в зависимости от размера каждого зернового или плотностного объекта в свободных или агрегатированных зернах. Информация может накапливаться по отдельным точкам (точка на зерно-объект или каждая точка сетки внутри зерна) или суммироваться по выделенным зернам или объектам, а также по плотностным диапазонам или по комбинации диапазонов, по всему растру или фрагменту растра (полигону) в плотностных диапазонах или комбинациям диапазо-

нов. Сбор информации может сопровождаться синхронной обработкой с получением количественных данных по минералам и минеральным ассоциациям, включая обычный модальный анализ и распределения зерен и масс химических элементов по гранулометрии, минералам, минеральным группам, по полигонам или по полным растрам.

Комбинации многих вариантов выделения объектов и вариантов сбора аналоговой и цифровой информации предоставляют возможность формулировать и решать огромное число практических задач при создании информационных реплик природных объектов с использованием инструментов ImSca v3.x, которое можно сравнить с возможностями художника по составлению бесконечно богатой цветовой палитры из сотни тюбиков с краской различных цветов.

Концентрат пробы ОФ-3 кадр за кадром был изучен с использованием комплекса ImSca 3.2 в качестве инструмента третьего звена технологической цепочки. Некоторые промежуточные операции проиллюстрированы на рис. 4.15, итоговые результаты приведены в табл. 4.3 и 4.4.

В табл. 4.3 указаны значения $Z_{\text{ср}}$ для каждого минерала, приведены результаты идентификации и подсчета минералов по количеству зерен и объемным соотношениям, приведены расчетные значения концентраций каждого из основных минералов в аналитической фракции, в исходной пробе, а также средние размеры зерен. Измерения выполнены для 10 123 зерен, что обеспечило чувствительность для одного зерна минерала-спутника 0.03 г/т в соответствии с условиями технического задания.

Как следует из рис. 4.15 и табл. 4.3, плотностные диапазоны, выделяемые по $Z_{\text{ср}}$, с хорошим приближением соответствуют яркостным (цветовым) группам различных минералов концентрата, однако на яркость минералов оказывают влияние и другие факторы и возможны неточности распределения зерен минералов по группам. Несмотря на принадлежность зерна-объекта к той или иной плотностной группе, идентификация фаз осуществляется именно по рентгеновским спектрам, т. е. по химическому составу, что устраняет возможные, обычно некритичные погрешности, связанные с неточным распределением зерен-объектов по плотностным диапазонам. Химический состав минералов приведен в табл. 4.4.

Поскольку идентификация и классификация фаз осуществляются по химическому составу, то может показаться, что выделение плотностных групп – процедура избыточная, однако несостоятельность такого

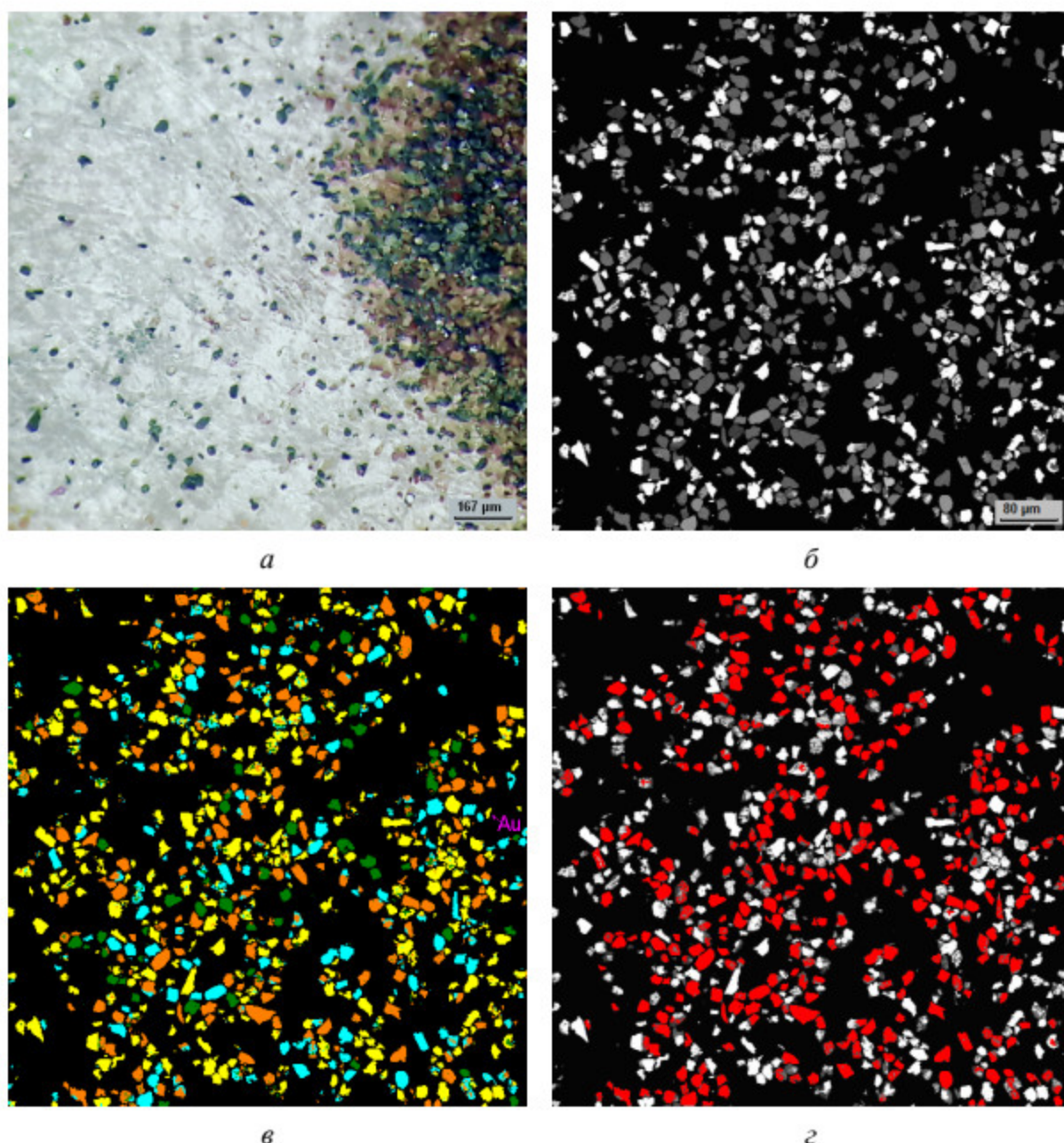


Рис. 4.15. Варианты представления концентрата пробы ОФ-3:

a – концентрат в оптике; *б* – фрагмент препарата концентрата в режиме отраженных электронов; *в* – разделение зерен на плотностные группы по Z_{sp} : желтый – >14 , голубой – $12...14$, оранжевый – $11...12$, зеленый – <11 ; *г* – для одного из кадров в качестве примера приведена иллюстрация варианта сбора информации: красным показаны точки сбора рентгеноспектральной информации по равномерной сети с нулевым шагом в каждом зерне-объекте трех плотностных диапазонов с накоплением интегральных спектров по точкам каждого зерна с синхронной классификацией спектров зерен-объектов по химическому составу (табл. 4.3)

заклучения станет очевидной, если спуститься на практический производственный уровень. Выделение плотностной группы – это еще один способ концентрирования полезной информации из сложного объекта типа "куча". Плотностной диапазон – это по сути концентрат

Таблица 4.3

**Результаты измерений и автоматической классификации
минералов пробы ОФ-3**

Минерал ($\sim 56 \mu\text{m}$)	$Z_{\text{ср}}$	N зерен	$V, \mu\text{m}^3$	N зерен, %	$V, \%$	$a_{\text{ср}}, \mu\text{m}$	$C_{\text{фр}}, \text{г/т}$	$C_{\text{пр}}, \text{г/т}$
ce,ba (Sr,Ba(SO ₄))	14.3...17.5	1 809	55 751 113	17.9	19.5	31.4	55.75	1.69
py (пирит)	19.3	3 816	68 931 823	37.7	24.1	26.2	76.58	2.32
il (ильменит)	14.3	108	1 558 098	1.1	0.5	24.3	1.63	0.05
Mg-sil (срх+...)	11.2	2 151	101 112 918	21.2	35.4	36.1	71.89	2.18
gr (гранат)	11.8	1 188	24 456 935	11.7	8.6	27.4	20.65	0.63
cl (кальцит)	10.1	918	27 332 318	9.1	9.6	31.0	17.01	0.52
ap (апатит)	12.4	27	1 657 409	0.3	0.6	39.4	1.18	0.04
dol (доломит)	9.2	24	562 683	0.2	0.2	28.6	0.36	0.01
pi (пироп)	10.6	34	1 299 666	0.3	0.5	33.7	1.01	0.03
Cr-di (Cr-диопсид)	11.1	14	392 715	0.1	0.1	30.4	0.26	0.01
pc-il (пик. ильм.)	13.4	6	339 988	0.1	0.1	38.4	0.34	0.01
sph (сфен)	11.9	20	961 891	0.2	0.3	36.4	0.71	0.02
pe (перовскит)	13.2	5	61 258	0.05	0.02	23.1	0.05	0.002
crt (хромит)	15.3	3	47 131	0.03	0.01	25.0	0.05	0.001
	$\Sigma =$	10 123				30.8		

Таблица 4.4

Химический состав основных минералов пробы ОФ-3

Проба	Минерал	Si	Ti	Al	Cr	Fe ^{III}	Fe ^{II}	Mn	Mg	Ca	Na	Sr	Ba	P	S	O
ОФ-3	sph	14.91	21.10	0.30						22.50						41.18
		1.032	0.856	0.022						1.091						5.000
ОФ-3	срх	22.98		1.34	0.65	6.95	2.23	0.18	8.81	13.18	0.96					42.73
		1.837		0.111	0.028	0.280	0.090	0.007	0.814	0.739	0.094					6.000
ОФ-3	срх	23.42	0.18	1.10	0.22	6.53	1.46		9.52	13.52	0.95					43.11
		1.858	0.008	0.091	0.009	0.260	0.058		0.872	0.751	0.092					6.000
ОФ-3	gr	17.25	0.23	5.41	0.07	12.51	12.83	0.52	6.16	5.07						39.94
		2.953	0.023	0.965	0.006	1.077	1.105	0.046	1.218	0.608						12.000
ОФ-3	dol									13.25	21.64					52.08
									1.005	0.995						6.000
ОФ-3	cl						5.88			35.16						47.16
							0.107			0.893						3.000
ОФ-3	pi	19.46		10.16	3.90	0.94	4.86		12.50	3.68						44.50
		2.989		1.625	0.323	0.073	0.376		2.218	0.396						12.000
ОФ-3	pi2	19.44	0.12	9.85	4.22	0.55	5.47		12.12	3.94						44.29
		3.001	0.011	1.582	0.352	0.043	0.424		2.162	0.426						12.000
ОФ-3	ap									39.90				18.50		38.22
										5.000				3.000		12.000
ОФ-3	il		30.62			2.84	33.02	0.76	0.84							31.92
			0.962			0.077	0.889	0.021	0.052							3.000
ОФ-3	p-il		29.36			11.21	18.17		7.00							34.25
			0.859			0.281	0.456		0.403							3.000
ОФ-3	ce											40.22	9.73		16.60	33.46
												0.877	0.135		0.990	4.000
ОФ-3	ba												59.34		13.73	28.93
													1.019		1.010	4.000

Первая строка - массовые концентрации, вторая - формульные доли элементов

из минерального концентрата, поэтому если, например, минералы-спутники алмаза по $Z_{\text{ср}}$ хорошо обособливаются от остальных минералов концентрата, то нет необходимости тратить время на анализ зерен-объектов других плотностных диапазонов. В рассматриваемом примере зерна-объекты плотностной группы $Z_{\text{ср}} > 14$ (желтый цвет, рис. 4.15, в)

в сумме составляют около 50 % от общего числа зерен (табл. 4.3). Исключение их из анализа – это сокращение времени обработки каждого кадра вдвое. Но в этой связи потребуется оговорка: корректная технология создания информационной реплики обеспечивает отображение всех деталей природного оригинала в объеме рабочей области. В этом и есть коренное отличие технологий рудного аудита от поисковых методик: реплика ничего не ищет, но находит все и сразу. Так, перед началом работ не формулировалась задача по поиску золота, однако зерно золота размером 9.2 μm в качестве одной из составных частей природного объекта автоматически было отображено в информационной реплике (рис. 4.15, в, середина фото у правой границы) точно так же, как и минералы-спутники алмаза, при этом концентрация золота в пересчете на массу исходной пробы составляет 0.09 мг/т. И, заключая: оптимизация процесса измерений с исключением из анализа плотностных диапазонов всегда будет приводить к некоторой контролируемой потере информации по отношению к полной информационной реплике. Для практики важнее другое: не превышает ли погрешность допусков технического задания.

Этап IV. Цель работ по этапам I–III состояла в разработке эффективной технологии обработки проб в ходе создания информационных реплик фазовых ореолов рассеяния алмазоносных объектов. Цель этого этапа – выполнить анализ полноты и качества результатов и сделать оценки эффективности технологии производства полученных результатов.

На примере одной пробы ОФ-3 была показана логика и этапы создания технологии, обеспечивающей получение корректных данных по отдельным пробам. Последующее обобщение данных, полученных по всем пробам, приводит к созданию информационной реплики объекта-ореола с заданным уровнем чувствительности и значением КС.

Конечный результат технологии для каждой изученной пробы состоял в выявлении зерен алмаза и минералов-спутников алмаза: пироба, пикроильменита, хромдиопсида с нижним порогом обнаружения около 0.03 г/т. В ходе обработки проб этот уровень чувствительности транслировался через все технологические звенья, даже с учетом того, что в третьем звене было проанализировано только 10 123 из 114 285 зерен-объектов, что составило 10 % от общего числа зерен в концентрате и занизило чувствительность с 0.003 до 0.03 г/т, впрочем, допустимую по условиям технического задания. Массовые концентрации для каждого

минерала-спутника для принятого уровня чувствительности показаны в табл. 4.3 и там же приведены минералогические данные: пироп – 34 зерна, Сг-диопсид – 14 и пикроильменит – 6 зерен. Зерна алмаза в концентрате $< 56 \text{ }\mu\text{m}$ отсутствуют при работах с чувствительностью 0.03 г/т.

На этом же этапе оценивается качество работ и вычисляется сквозной коэффициент соответствия для всех звеньев технологической цепи. Для первых двух звеньев (расситовка, концентрирование) расчет уже производился и коэффициент составил 0.91 %. Снижение коэффициента трансляции третьего звена происходит по разным причинам, но основных причин три: появление ложных яркостных сигналов на изображениях в отраженных (обратно рассеянных) электронах из-за дефектов полировки поверхности препарата или приготовления препарата, из-за отсутствия должного стока заряда с поверхности препарата и из-за механического дрейфа столика образцов микроскопа или нестабильности электроники. Все эти причины могут приводить к тому, что рентгеновские спектры, извлеченные из "дефектных" точек, либо не кондиционны по значению интеграла импульсов в аналитическом энергетическом интервале, либо искажены настолько, что искажения исключают идентификацию фаз, какими бы они ни были. Некондиционные спектры уменьшают значение коэффициента соответствия: для примера с пробой ОФ-3 количество таких спектров равно 56, что соответствует 0.55 % от числа всех подсчитанных зерен. Отсюда коэффициент трансляции третьего звена равен $100 - 0.55 = 99.45 \text{ }\%$.

Следовательно, сквозной коэффициент соответствия всей технологии равен $КС = 0.99 \cdot 0.92 \cdot 0.99 = 0.90$, что с некоторым запасом соответствует техническому заданию: $КС > 80 \text{ }\%$. Это обосновывает вывод: техническое задание выполнено в полном объеме, результаты отвечают заданным значениям параметров технического задания: чувствительность по минералам-спутникам алмаза от 0.03 г/т, коэффициент соответствия $> 80 \text{ }\%$. Цена работ должна соответствовать полученному значению КС, но не нормативным ценам по СУСН и СНОР, поскольку не нормативами определяется качество и полнота результатов.

Кроме анализа результатов с точки зрения их соответствия требованиям технического задания есть возможность оценить некоторые производственно-экономические показатели в сравнении с аналогичными показателями при использовании традиционных поисковых подходов.

Используемые в технологиях рудного аудита параметры отображения природных объектов с созданием аутентичных информационных реплик опираются на базовые понятия: "измерительная модель", "чувствительность работ", "аналитический гранулометрический класс", "масса представительной пробы", "граничные значения параметров рабочей области" и другие переменные, которые отсутствуют в общепринятой практике поисковых работ. Поэтому с позиций традиционных поисков нет аргументов и описательных средств для сравнения результатов, полученных на старой и новой концептуальной базе, но с позиций рудного аудита сделать такие сравнения достаточно просто. (Вспомним дискуссии алхимика с химиком, упомянутые в гл. 1.)

Несколько сравнений: если правила арифметики все еще работают, то чувствительность на алмазы и минералы-спутники кратно или на порядки величин выше, если вместо фракций $> 500 \dots 1000 \text{ }\mu\text{m}$ использовать мелкие фракции проб, например < 250 , < 100 или $< 50 \text{ }\mu\text{m}$ (см. табл. 4.1). Необходимо выполнить насилие над разумом, чтобы обосновывать традиционную логику, предписывающую поиски по крупным фракциям с отбором проб массой по 50 или 200 кг, вместо сбора и обработки проб массой от 100 г до 1...3 кг (масса определяется заданной чувствительностью и граничными значениями рабочей области). Обработка больших проб по традиционным поисковым схемам в отличие от технологий рудного аудита включает несколько операций, но ни одна из них не имеет оценок качества, что с позиций рудного аудита отвечает действиям ради действий и генерации случайных чисел в качестве результатов. Вывод: сравнение результатов традиционных поисков и рудного аудита возможно лишь на эмоциональном уровне: "нравится – не нравится", "хорошо – плохо". Общих объективных параметров сравнения нет. Односторонние оценки с использованием понятий и терминов рудного аудита показывают, что по всем формальным параметрам, включая чувствительность и коэффициент соответствия, традиционные поисковые методики значительно менее эффективны, чем технологии рудного аудита. В гл. 1 в контексте "старого" и "нового" уже был сформулирован тезис: "Сейчас – это реализация будущего, созданного в прошлом". Этот тезис актуален для рассмотренного примера: будущие новые возможности должны создаваться сейчас, но если сейчас тиражировать только прошлый опыт, то новое в будущем вообще не появится. Будущее будет, а нового – нет.

Производительность предложенной трехзвенной аудит-технологии такова, что при организации лаборатории на полевом стационаре и оснащении ее необходимым оборудованием и технологиями обработки результатов измерений возможно обрабатывать до 10–20 проб в день, что по экономическим показателям и эффективности работ в целом многократно превосходит имеющиеся производственные практики при одинаковом уровне чувствительности работ. Это же заключение справедливо не только для полевых, но и для стационарных аналитических лабораторий, освоивших технологии рудного аудита и занятых на действующих рудных объектах подсчетами запасов, оценками качества сырья, технологическим картированием или мониторингом обогатительного процесса.

4.3.2. Реплики техногенных ореолов металлургических производств

В двух предыдущих примерах создания информационных реплик вторичных ореолов рассеяния фазового уровня критичным был выбор граничных значений всех трех основных параметров рабочей области: чувствительности работ, аналитического гранулометрического класса и масс представительных проб. В примере с техногенными ореолами рассеяния на Кольском полуострове задача была проще: требовалось оценить максимальный размер ареала распространения искусственных фаз, которые возникают в процессе металлургического производства никеля, кобальта, меди и других металлов на Мончегорском комбинате (рис. 4.16), для последующих оценок масштаба техногенного заражения территорий. Необходимо уточнить, что, вопреки существующей практике, подобные задачи не решаются на концентрационном уровне: элементный химический состав и концентрации химических элементов не несут информации ни о генезисе, ни об источнике вещества (см. гл. 3). В любой точке отбора пробы присутствие химического элемента может быть обусловлено как естественными, так и искусственными причинами или даже сочетанием разнородных причин. В отличие от концентраций (чисел) только фазовый уровень предоставляет необходимый набор параметров-индикаторов генезиса фаз, что и требуется для решения подобных задач.

Для установления ареала распространения техногенного заражения территории было достаточно выполнить работы с чувствительностью около $n \cdot 10$ мг/т по фазовому эквиваленту концентраций никеля и меди в максимально широком интервале значений других параметров рабочей области, и этого было достаточно для получения корректных результатов.



Рис. 4.16. Схема пунктов сбора проб для установления ареала техногенного заражения.

Цифрами обозначены участки: 1 – Южносопчинский (6–8), 2 – Свинцовые (12), 3 – Куцколь (45), 4 – Улита (65), 5 – Явр (130), 6 – Вокман (140), 7 – Пай-Юр (145).

В скобках указано расстояние [км] от Мончегорского комбината.

Роза ветров ближе к меридиональному направлению, но с сезонными колебаниями

Граничные значения параметров рабочей области для этой задачи были выбраны следующими: размерный класс менее $100\ \mu\text{m}$, чувствительность работ на никель и медь $0.02\ \text{г/т}$, массы исходных проб $500\ \text{г}$. При выходе фракции $-250\ \mu\text{m}$ из $500\ \text{г}$ исходной пробы $< 50\ \%$ навеска на гравитационное концентрирование составляла менее $250\ \text{г}$, что обеспечивало коэффициент извлечения фаз интереса в концентрат около $95\ \%$ для зерен размером $100\ \mu\text{m}$ и около $70\ \%$ для зерен $10\ \mu\text{m}$ даже при коэффициенте сокращения $30\ 000$ (см. график на рис. 4.3). Эти значения параметров рабочей области позволили выполнить весь комплекс работ с $\text{КС} = 85\text{--}90\ \%$.

Сбор проб проводился на участках, удаленных от труб комбината на различные расстояния. Первый участок, максимально приближенный к комбинату (рис. 4.17, а, б, пункт 1 на карте рис. 4.16), находился южнее на расстоянии $6\text{--}8\ \text{км}$, и на нем было установлено максимальное качественное разнообразие типичных для этого производства техногенных фаз, некоторые из которых показаны на рис. 4.18.

Типичный облик техногенных фаз – это металлические ядра (сплавы), окруженные каймами оксидов тех же металлов, реже – обособленные оксидные сфероиды или металлические ядра без оксидных кайм.



а



б

Рис. 4.17. Мончегорский комбинат, вид с запада (а); мертвый лес после работы комбината с высокосернистыми рудами, участок Южносопчинский (б), 2009 год

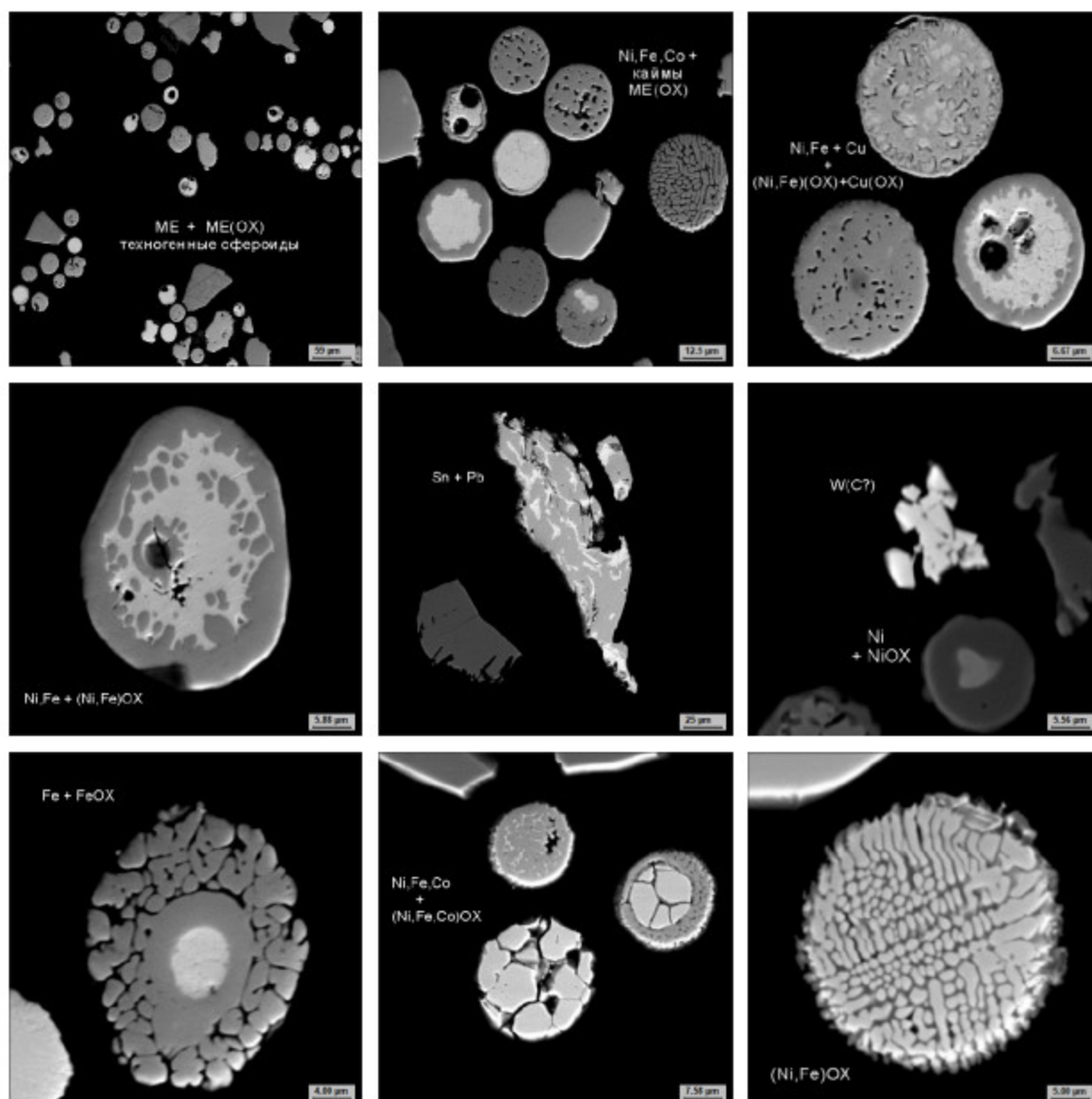


Рис. 4.18. Типичные техногенные фазы на Южносопчинском участке

Размер сфероидов находится в интервале 1...50 μm (в основном 10...30 μm), в составе зафиксированы Cr, Fe, Ni, Cu, Co, Zn, Sb, Sn, Pd, W(C?), Pb, Bi. В отдельных пробах массой 500 г (фракция –250 μm) число зерен достигало нескольких сотен, но обычно их было не более ста.

В пунктах сбора проб 2, 3 и 4 (Свинцовые, Куцколь, Улита, удаление от комбината на 12, 45 и 65 км соответственно) качественный состав техногенных фаз не изменился, уменьшилось лишь количество техногенных зерен. В составе металлических ядер зерен установлены Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sb, Sn, Pb, оксидные каймы содержат Fe, Co, Ni, размер зерен в интервале 5...25 μm (рис. 4.19).

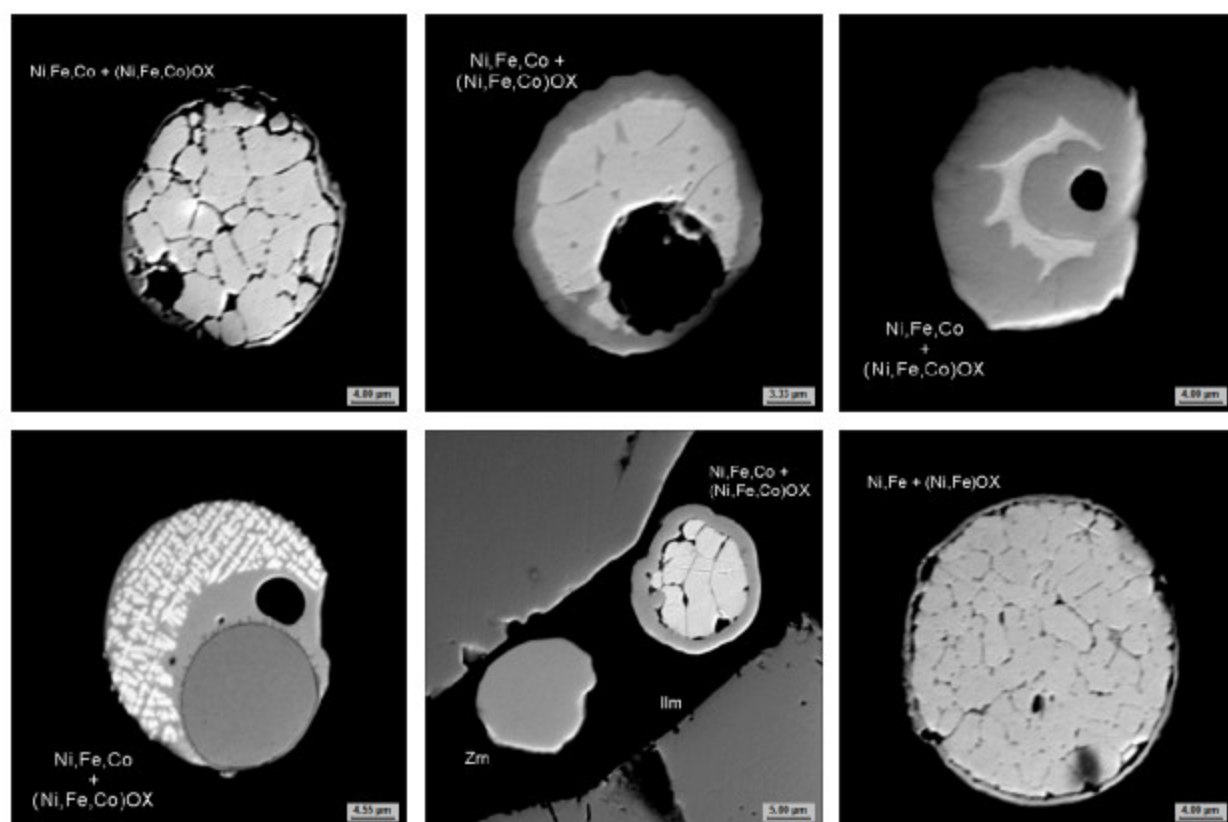


Рис. 4.19. Техногенные фазы участков Свинцовые, Куцколь, Улита (удаление от Мончегорского комбината на 12, 45, 65 км соответственно)

Количество зерен техногенных фаз последовательно уменьшается с удалением каждого участка от комбината: на участке Свинцовые среднее количество зерен в пробах находится в интервале "единичные зерна – первые десятки зерен", а на участке Улита только в двух пробах из пятнадцати количество зерен более десяти (12 и 17 зерен), а в нескольких пробах техногенные фазы отсутствуют при чувствительности 10 мг/т по фазовому эквиваленту концентрации металла.

На участках 5, 6 и 7 (оз. Явр, р. Вокман, оз. Пай-Яур, удаление от комбината на 130, 140, 145 км соответственно) техногенные фазы

установлены только в шести из тридцати двух проб при той же чувствительности работ, причем в пробах присутствуют единичные зерна, в состав которых входят Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sb, Sn, W(C?), Pb, Bi и оксиды некоторых из этих металлов в виде тонких каемок (рис. 4.20). Размер техногенных зерен 5...25 μm .

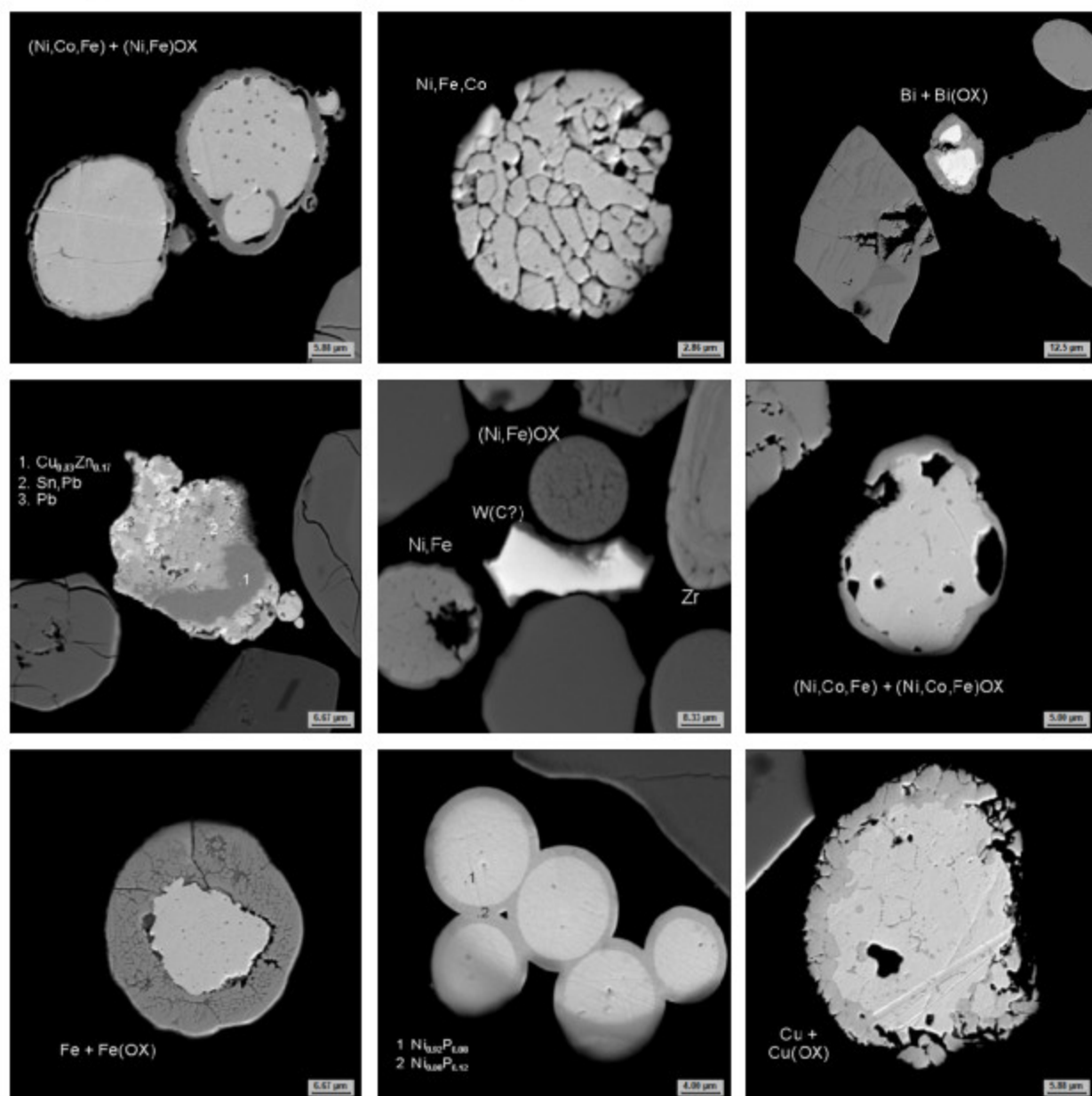


Рис. 4.20. Техногенные фазы участков Явр, Вокман, Пай-Яур (удаление от Мончегорского комбината на 130, 140, 145 км соответственно)

Ареал распространения техногенных фаз металлургического производства Мончегорского комбината охватывает значительные площади, о чем свидетельствуют характерные особенности фазового и химического состава и морфология зерен, однако не для всех фаз такая интерпретация генезиса представляется бесспорной. Трудно представить, что ме-

таллический вольфрам (возможно, карбид вольфрама обычный для твердосплавных инструментов и буровых коронок) может образоваться в термальных условиях металлургического процесса, поэтому остается лишь зафиксировать этот факт без генетической интерпретации до получения дополнительных данных.

Выполненные исследования позволяют сделать методический вывод: при корректном выборе граничных значений рабочей области и при корректной технологии обработки проб полученные результаты соответствуют $KC = 85\text{--}90\%$, что составит надежную основу для последующих выводов и экспертных заключений. В ходе выполнения работ проводятся измерения информации, что позволяет получать количественные данные с заданными величинами погрешностей измерений.

5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Государственная экспертиза материалов подсчета запасов предусматривает наличие обширного перечня видов документации для вновь разведанных или уже разрабатываемых месторождений, но даже в этом случае данные о свойствах руд далеко не всегда могут обеспечить утвержденные в ТЭО значения показателей концентратов обогащения и коэффициенты извлечения рудных компонентов при эксплуатации месторождений. Причем часто выявляется подобное значительно позже утверждения запасов в ГКЗ: в ходе эксплуатационной разведки или фиксируется по факту "слишком низкого и варьирующего значения коэффициента извлечения" в товарные концентраты.

Нередко такая ситуация возникает на месторождениях второй, третьей и четвертой групп сложности ("Классификация запасов и прогнозных ресурсов ТПИ", МПР России, 2006), но обычно она предопределена работами более ранних этапов на стадиях оценки ресурсов или запасов по категориям P2–P1–C2. Одной из нескольких (возможно, главной) причин этого является то, что наиболее практичным и экономичным способом характеристики свойств выявленных или потенциальных руд является определение концентраций химических элементов различными инструментальными методами.

Инструментальная доступность и относительная дешевизна определения концентраций рудных элементов в сочетании с отсутствием даже элементарных знаний и навыков корректных измерений у геологов-поисковиков ввели в производственный обиход далеко не безупречную практику документации руд в концентрационных единицах (см. гл. 2 и 3). Между тем никем не оспаривается, что любой процесс обогащения руд – это процесс фазового уровня: воздействие реактивов или полей (магнитного, гравитационного) на вещества (минералы), но не на фантомные числа-концентрации химических элементов. Обычно многочисленные и трудоемкие попытки получить дополнительную информацию фазового уровня для типовых проб в объеме "сделаем минералогию" или "проведем опыты по обогащению" в старой "концентрационной" парадигме также предпринимались и предпринимаются на большинстве рудных объектов, но не оправдывают ожиданий и не приносят должного эффекта: на этапе геолого-технологического картирования (ГТК) устаревшие подходы продуцируют бессистемные заплатки вместо систематической информации. Поэтому картирование природных

разновидностей или технологических типов руд, картирование границ рудных тел с выделением балансовых и забалансовых руд по значениям бортовых содержаний – все эти элементы для оценки запасов или ресурсов в своей основе традиционно продолжают использовать именно значения концентраций рудных элементов, но не физические или химические свойства рудных минералов, которые определяют извлечение рудных компонентов. Объяснить этот парадокс можно лишь тем, что раньше (до эпохи рудного аудита) геологи-поисковики и геологи на рудниках при геолого-технологическом картировании и создании объемных моделей месторождений использовали традиционный "концентрационный" подход только потому, что отсутствовала теория и технологии получения информационных реплик и не было практических, экспрессных и экономичных аналитических методов получения информации фазового уровня о свойствах руд.

Это означает, что обычно картировались фантомные концентрационные границы, но не те параметры, которые определяют коэффициенты извлечения рудных компонентов, и, как следствие, фантомные границы (см. рис. 2.8) поставляли лишь фантомные, но не фактически извлекаемые рудные запасы. Хорошим подтверждением служит известное правило: "Действительные запасы определяются только после окончания работ на объекте". Только получение информационных реплик с привлечением технологий рудного аудита с заданным значением коэффициента соответствия дает возможность получить все корректные данные концентрационного и фазового уровней: новый концептуальный уровень обеспечивает требуемое новое качество данных.

В контексте фантомных запасов следует оттенить то, что в условиях рыночной экономики рудные объекты различной степени освоения продаются и покупаются. Рудный аудит в варианте пред- или постпроектного аудита, основанного на технологиях с надежной метрологией и обеспеченных должным аналитическим оборудованием, может выступать в качестве поставщика объективных данных об извлекаемой части рудных запасов, для которой только и имеет смысл определять убедительную для субъектов сделки цену.

5.1. Реплики на этапах геолого-технологического картирования

Независимо от стадии освоения месторождения на этапе ГТК наибольшее практическое значение кроме объема запасов имеют информационные реплики тех свойств руд, которые существенным образом влияют на ход процесса обогащения и на сквозной коэффициент

извлечения рудного компонента в товарный концентрат. Для различных рудных компонентов и разных типов руд параметры и граничные значения параметров рабочей области (области корректного измерения информации, см. гл. 2) могут варьировать в пределах допусков измерительной модели (см. 2.7), что обеспечит получение информационной реплики с заданным значением КС информационной реплики природному оригиналу. Однако для достижения конечной цели (товарный концентрат или слиток металла) наличие объективных данных о свойствах руд в объемной модели месторождения – это условие необходимое, но недостаточное: процесс производства корректных данных также должен касаться отображения коэффициентов извлечения металла и быть встроенным по экономике и, главное, по производительности в общий производственный цикл от отбора проб при эксплуатационной разведке до контроля хвостов обогащения.

Информационная реплика месторождения как виртуальный аналог природного объекта должна быть реализована в производственной 3D-модели месторождения, но если модель не содержит всех необходимых данных, то это может переводить руды объекта из категории "рентабельные" в категорию "нерентабельные". Ситуация типичная и на одном из многих аналогичных примеров будет проанализирована далее на Варваринском золоторудном месторождении Казахстана.

Месторождение Варваринское (цитируется по <http://geology.gov.kz>, 2016) "расположено на севере западного борта Торгайского прогиба в Денисовской горст-антиклинали. Палеозойские породы представлены среднеосновными эффузивами среднего девона с линзами известняков, алевролитов, песчаников, прорванными раннекаменноугольными гипербазитами и среднепозднекарбонowymi диоритами. Осадочно-вулканогенные породы имеют северо-восточное (45°) простирание при юго-восточном падении под углом 55°. Многочисленные разрывные нарушения с левосторонним сдвигом разбивают породы на небольшие блоки. Практически все контакты пород сорваны. Широко распространены милониты и тектонические брекчии. Оруденение развито в термально-метаморфизованных породах, полоса которых протягивается в северо-северо-восточном направлении через весь участок". "На месторождении выделено 12 минеральных типов руд, из которых три золотоносны: золотохалькопиритовый, золотосульфидно-арсенопиритовый и золото-никелин-герсдорфитовый. Золотохалькопиритовые руды развиты в термально-метаморфизованных эффузивах, диоритах, иногда габб-

ро". "Руды представлены тонкой вкрапленностью, реже гнездами и прожилками халькопирита с включениями золота. Околорудные изменения – окварцевание, биотитизация, пренитизация, амфиболизация, диопсидизация".

В 2009 г. на месторождении (включая обоганительное производство) сменился собственник, и на тот момент суммарные запасы и ресурсы по опубликованным данным оценивались в пределах 95 т металла на трех участках месторождения. Эксплуатация месторождения новым собственником в течение пяти лет выявила негативный тренд: коэффициент извлечения металла из балансовой руды варьировал в широких пределах от единиц до десятков процентов, что требовало установления причин подобных вариаций для минимизации убытков. (Попутно: проведение рудного аудита до приобретения объекта новым собственником могло быкратно уменьшить финансовые риски и значимо повлиять на цену покупки объекта, хотя этот положительный эффект может рассматриваться и как отрицательный, если задумывалась спекулятивная цепочка, а не производство золота: кредит в дружественном банке – покупка месторождения – увеличение чистых активов компании – эмиссия акций – продажа акций на бирже (обмен фантомных запасов и бумажных акций на деньги) – возврат средств по кредиту и в итоге – новая собственность как источник прибыли из фантомных запасов, т. е. успешный бизнес. В этом спекулятивном бизнес-случае объективное обоснование цены при покупке объекта – не положительное, а отрицательное событие.)

На месторождении неоднократно предпринимались попытки разобраться в ситуации силами специалистов рудника, управляющей компании и с привлечением внешних исполнителей, но все попытки использовали старые неэффективные подходы, и за семь лет после приобретения месторождения позитивные изменения так и не произошли. Дальнейшая эксплуатация рудника стала неочевидной.

Перед началом наших работ на месторождении по технологии рудного аудита выполнялись необходимые предварительные процедуры для выбора граничных значений параметров рабочей области для измерительной модели типа "куча" (см. 2.4). В результате работ были получены информационные реплики, которые вскрыли причины нестабильности коэффициента извлечения золота. Граничные значения параметров рабочей области для золота в зерновой форме после предварительных исследований были выбраны следующими: чувствительность по бортовому содер-

жанию – 0.5 г/т, верхняя граница по гранулометрии – 250 μm , аналитическая навеска – 600 г, среднее содержание золота в минерале 0.8. Технологический регламент и инструменты для данной рабочей области обеспечили получение результатов со сквозным КС > 80 %.

Анализ информационных реплик различных типов руд месторождения позволил выявить критические значения параметров свойств руд, сочетания которых обуславливают величину извлечения металла в концентраты. В результате аудита было установлено следующее:

- вариации суммарного содержания золота в балансовой руде не являются определяющим параметром, влияющим на коэффициент извлечения (а это основной параметр картирования в ходе ГТК и отображения в объемной модели);

- геолого-генетический, минералогический (золотохалькопиритовый и др.), текстурный (гнездовой, прожилковый...) типы руд и характер оклорудных изменений не имеют заметного влияния на коэффициент извлечения (это также элементы отображения в объемной модели);

- фазовые формы нахождения золота в руде и тем более сочетание фазовых форм нахождения прямо определяют коэффициент извлечения для различных технологий обогащения: цианирование, флотация (хотя по старым традициям эти параметры не имеют количественной оценки и не картируются в ходе ГТК).

Для целей ГТК и последующих процессов обогащения были обоснованы и генерализованы два основных типа фазовых форм золота в рудах с содержанием золота 0.5...3 г/т:

- 1) индивидуальные достаточно крупные частицы золота или зерна-агрегаты (зерновой тип), в которых значительная часть периметра представлена золотом: золото открыто для воздействия реагентов обогащения (рис. 5.1, а, зерно золота в левом верхнем квадранте);

- 2) дисперсная форма золота: мелкие (микронные, субмикронные) включения золота (рис. 5.1, в) в силикатно-карбонатной матрице или в арсенидах, сульфоарсенидах, сульфидах железа, меди, никеля, кобальта. К этой же форме отнесено золото, которое рассеяно в кристаллических решетках рудных минералов без выделения собственных фаз (рис. 5.1, б, г).

Для руд месторождения с дисперсной фазовой формой золота специализированными работами в рамках рудного аудита в пределах рабочей области этой задачи (КС > 80 %) выделялись различные рудные концентраты (арсенидные, сульфоарсенидные, сульфидные, коллективные

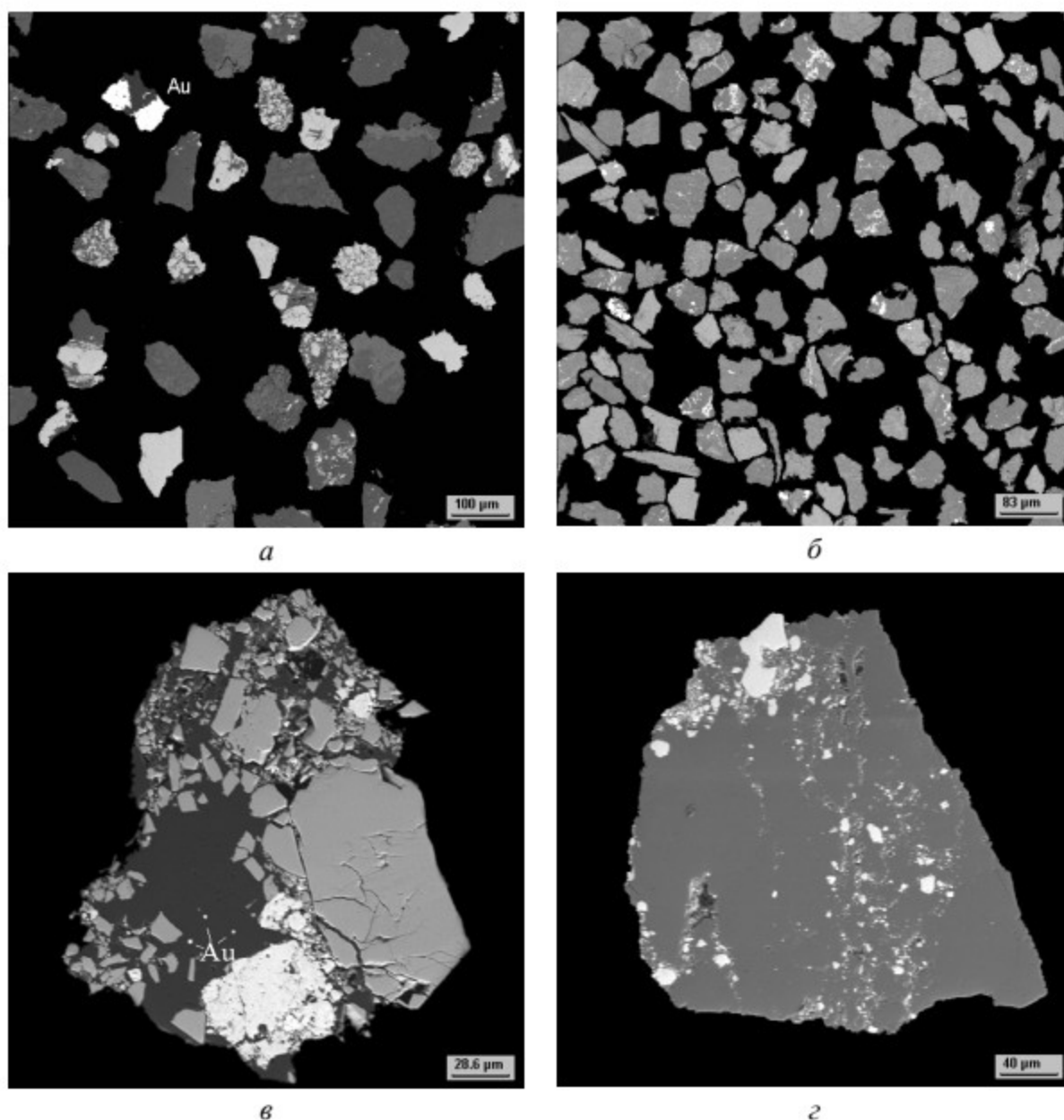


Рис. 5.1. Фазовые формы золота в рудах F1 и F2: *а* – открытые индивидуальные зерна и агрегаты (агрегат с золотом на фото обозначен Au) среди зерен сульфидов, сульфоарсенидов и силикатов; *б–г* – дисперсное золото: присутствует либо в виде субмикронных включений в силикатах (*в*) или сульфидах, арсенидах и сульфоарсенидах никеля, кобальта и железа, либо рассеяно в этих минералах без выделения даже мелких самостоятельных фаз (устанавливается химическим анализом различных сульфидных концентратов и заверяется электронной микроскопией).

На фото *б–г* агрегаты силикатов (темные) с включениями разного размера сульфидов (пирит, халькопирит, оттенки серого) и арсенидов + сульфоарсенидов (никелин, герсдорфит-кобальтин, арсенопирит, серо-белые тона).

Фото *а, в* – фреймы руды F1; *б, г* – фреймы руды F2

сульфидно-арсенидно-сульфоарсенидные), в которых зерновой тип золота отсутствовал. В таких концентратах инструментально определялось содержание золота и удалось установить, что золото присутствует в каждом из концентратов, причем его концентрация может достигать со-

тен граммов на тонну, что в пересчете на исходную массу проб иногда полностью соответствует валовому содержанию золота в исходной руде.

Однако более типично, что в каждой отдельной пробе одновременно присутствуют обе формы (зерновая и дисперсная), но соотношение между формами в различных пробах не постоянное и может варьировать в очень широких пределах, несмотря на относительное постоянство валового содержания металла в рудах.

Обогащение руд цианированием или флотацией с преобладанием фазовых форм золота первого типа (открытое, зерновое золото) обеспечивает высокие значения коэффициента извлечения рудного компонента. В рудах с невысоким содержанием зерновой формы золота коэффициент извлечения также может быть относительно высоким при флотационном обогащении, но это справедливо только в случае, если дисперсная форма локализована в свободных (открытых) зернах никелина, герсдорфита-кобальтина, которые накапливаются вместе с дисперсной формой золота во флотоконцентрате, но подобное преобладание свободных зерен сульфидов нетипично для руд месторождения (см. рис. 5.1, б). Тем не менее в этом варианте флотационная схема обогащения может быть весьма эффективной в противоположность цианированию: цианирование не извлекает золото, находящееся внутри минеральных зерен.

Очевидно, что после проведенного изучения получение аналитических данных о соотношении фазовых форм золота в каждой конкретной пробе в ходе ГТК открывает возможность стабилизировать коэффициент извлечения, но как получать такую информацию, не нарушая темпа производственных работ, по каким технологиям и на каком оборудовании – это комплексная задача, требующая решения.

Уже указывалось ранее, что наличие объективных данных о базовых свойствах руд – это условие необходимое, но недостаточное в масштабе всей производственной цепочки от эксплуатационной разведки до получения товарного концентрата. Это заключение имеет важное методическое, технологическое и практическое значение. Объективные данные о концентрациях золота в различных типах руд месторождения, минералогия руд и даже установленные в результате рудного аудита виды фазовых форм нахождения золота в рудах не конкретизируют те параметры, которые должны картироваться в ходе ГТК и указывать на величину коэффициента извлечения металла для той или иной технологии обогащения. Это вызывает необходимость удлинить информационную технологическую цепочку дополнительными звеньями, ответствен-

ными за получение детализационных реплик, чтобы иметь весь комплект необходимых данных для отображения в объемной модели и практического использования. В теоретическом и методическом аспектах это возвращает к тексту в 2.3, в котором для подобных случаев обосновывается применение измерительной модели типа "куча". Использование других измерительных моделей (осознанно или по умолчанию, типа "будем делать химию" или "сделаем минералогию") не приводит к необходимости включения в объемную модель месторождения параметров, указывающих на коэффициент извлечения металла в различных блоках. В противоположность такому подходу измерительная модель типа "куча" рассматривает комплексный объект в переменных аддитивных свойств, комбинации которых всесторонне характеризуют сложно построенный рудный объект. Именно сочетания числовых значений параметров аддитивных свойств элементов-носителей рудных компонентов позволяет обосновать измеряемые и картируемые в ходе ГТК параметры, которые предопределяют величину коэффициента извлечения металла в концентрат. Это означает, что дополнительные звенья информационной технологической цепочки ориентированы на определение специфических материальных особенностей фазового состава и строения руд, на которые прямо воздействуют факторы и субстанции (физические поля и химические реагенты) конкретной промышленной технологии обогащения. Для этого кроме отображения химических и фазовых свойств руд требуется корректное отображение в информационных репликах пространственных факторов, определяющих характер взаиморасположения рудных фаз с безрудной матрицей. Это касается не только исходных руд в коренном залегании (структуры и текстуры руд), но и рудного питания обогатительных фабрик (измельченный и отклассифицированный материал).

Для подобного комплекса измерительных задач требуется наличие соответствующих инструментов измерения с надежной метрологией. Опыт показал, что наиболее эффективным (и во многом безальтернативным) является измерительный комплекс ImSca 3.2 (рис. 5.2), позволяющий тремя различными способами получать необходимые данные о пространственных взаимоотношениях элементов-носителей аддитивных свойств.

Задача по измерению числовых значений параметров пространственных взаимоотношений рудной и безрудной частей, дисперсной и зерновой фазовых форм и других свойств выполняется параллельно в едином цикле с созданием информационной реплики базовых свойств руд, если по желанию оператора эта дополнительная опция подключена

к процессу измерения. Выбор одного из трех способов измерения пространственной информации осуществляется в зависимости от конкретной задачи, заданного значения КС и требований к производительности получения аналитических данных. Сами измерения, оставаясь в рамках логики рудного аудита, требуют адаптации параметров рабочей области к конкретному варианту измерений.

Для различных типов руд (для примера показаны руды F1 и F2 на рис. 5.1, *а* и *б* соответственно) комплекс ImSca 3.2 позволяет кроме выполнения стандартной процедуры модального анализа для документации зерновой формы золота получить количественную информацию о соотношениях зерновой и дисперсной форм и о пространственных соотношениях рудных и нерудных фаз, в том числе локализованных в минеральных агрегатах (полифазных сростках) в виде открытых или закрытых включений (рис. 5.1 и 5.3): открытые включения имеют выход на поверхность зерен-агрегатов и доступны для реагентов обогащательного процесса, закрытые находятся внутри зерен-агрегатов без выхода на поверхность.

Важной технической особенностью комплекса ImSca 3.2 при анализе агрегатов-сростков является возможность назначения (объединения) минералов одного или нескольких плотностных (цветовых) диапазонов (рис. 5.2, 5.3) в категорию "включение в агрегате", а остальную часть агрегата в категорию "матрица агрегата" независимо от того, какими именно минералами представлены "включения" или "матрица". Любой диапазон или группа диапазонов программно могут получить назначение "включение", а все остальные цветовые (плотностные) группы будут рассматриваться при подсчетах в качестве "матрицы". Пример на рис. 5.1 и 5.3: при назначении диапазона сульфидов "включением" зерно-агрегат зернового золота (см. рис. 5.1, *а*) классифицировано на рис. 5.3, *в* в качестве "матрицы" вместе с силикатами и карбонатами: сульфиды выделены в качестве "включений" желтым цветом, а "матрица", включая золото, – бордовым. Однако более типично, что назначение сульфидов и арсенидов в качестве "включений" имеет сопряженную "матрицу", состоящую только из силикатов, карбонатов и других минералов. Эта особенность (вариабельность назначений) позволяет очень гибко комбинировать и выполнять группировку минералов во "включения" и "матрицу" зерен-агрегатов и предоставляет возможность выполнять автоматический анализ агрегатов для многих вариантов задач по сросткам при определении свойств руд.

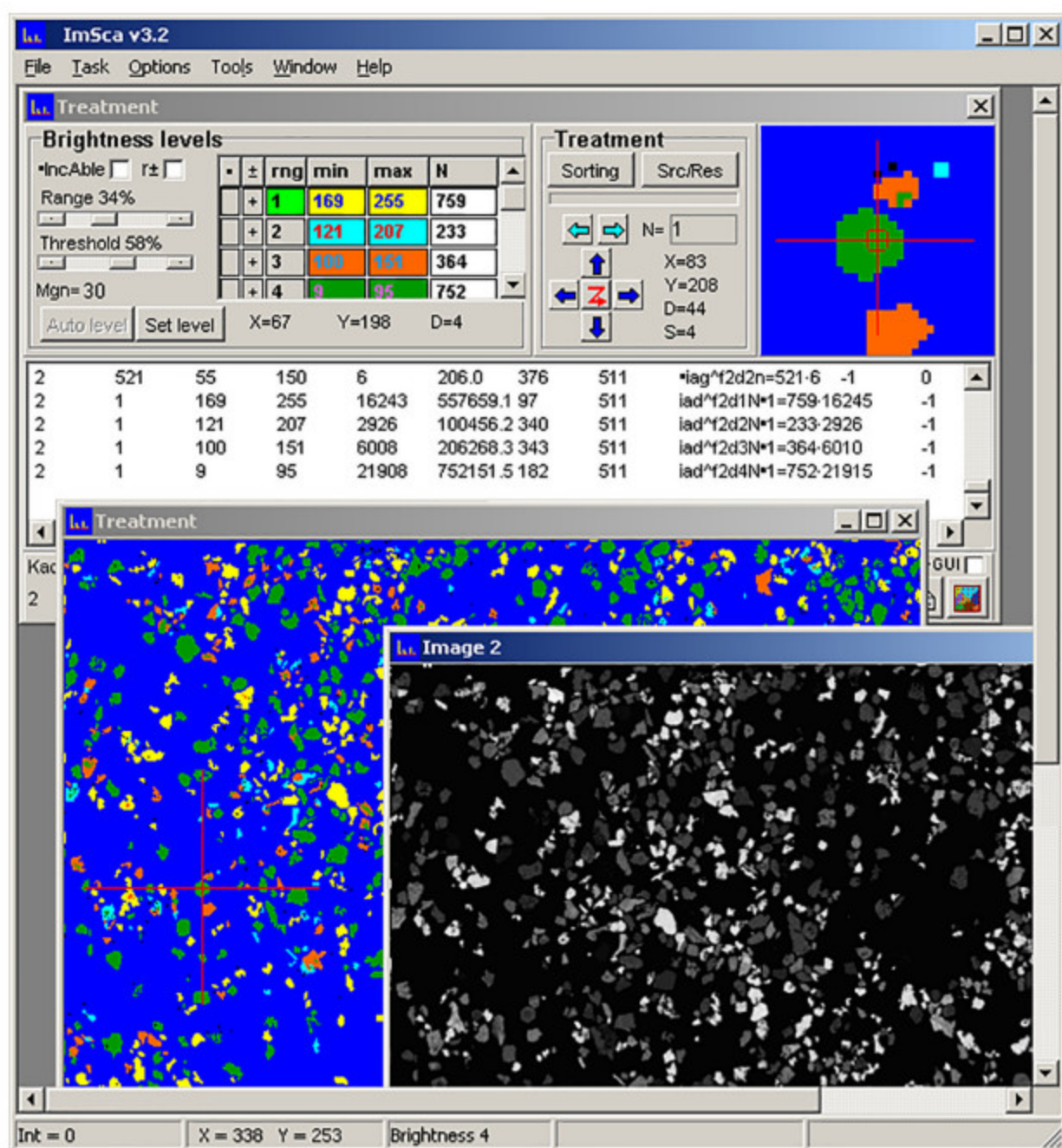


Рис. 5.2. Фрагмент окна программного интерфейса комплекса ImSca 3.2.

В окне Image2 отображены зерна измельченной руды в отраженных электронах, яркость пропорциональна плотности фаз. По величине яркости выделены цветовые диапазоны, соответствующие плотностным группам (два окна Treatment), для каждого зерна каждой плотностной группы определены координаты в кадре, подсчитаны количества зерен в диапазонах и площади зерен или агрегатов, накоплены рентгеновские спектры (варианты: точка на зерно или на цветовой объект, суммарный спектр по всем точкам внутри зерна, суммарный спектр по всем зернам диапазона для каждого из диапазонов), выполнена автоматическая классификация фаз по химическому составу (по рентгеновским спектрам) с последующей идентификацией минеральных видов, т. е. в полном объеме выполнен модальный анализ в автоматическом режиме. В цикле измерений зерновая форма золота классифицируется в отдельную группу

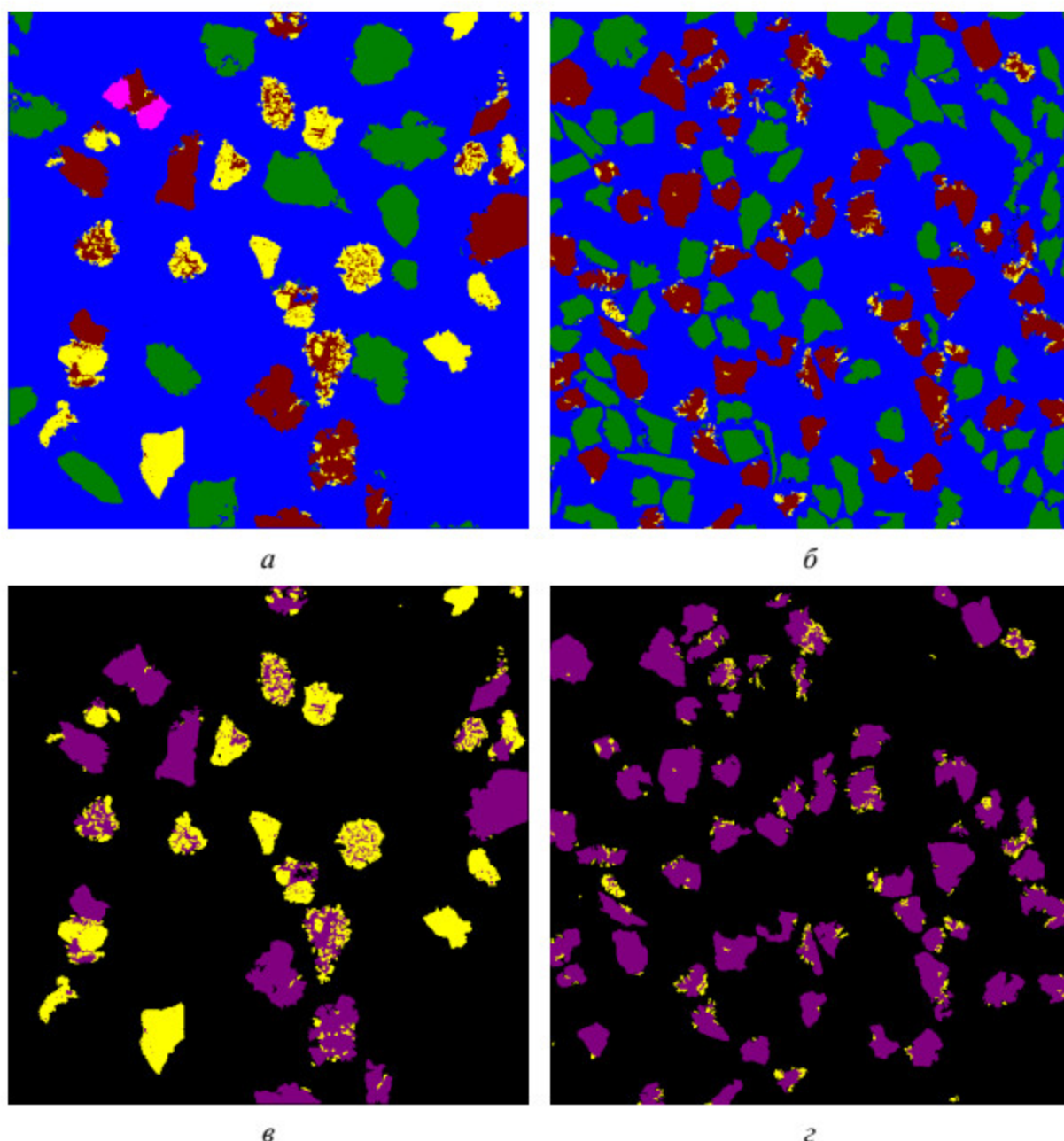


Рис. 5.3. Классификация и измерения зерен и агрегатов зерен для получения данных о коэффициентах извлечения в ходе ГТК: *а* и *в* – для руд типа F1; *б* и *г* – для руд типа F2 (см. рис. 5.1). Пояснения в тексте

В группе дисперсного золота выделяются зерна, не содержащие включений (см. рис. 5.1, *а* и *б*, зеленый цвет зерен), и зерна-агрегаты с включениями субмикронного золота, сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов ("включения", носители дисперсной фазовой формы золота – желтый цвет, фазы "матрицы" – коричневый цвет). На этом этапе получают количественные данные о соотношениях по суммарному числу зерен и агрегатов, по соотношению их площадей, по числу и площади отдельных включений и матрицы, по среднему химическому составу всех зерен и агрегатов, по химическому составу матрицы и включений

для каждого агрегата и по распределению включений и агрегатов по размеру как по всем зернам, так и внутри каждого агрегата и многие другие числовые данные. Соотношения площадей (включения) / (матрица) могут быть в диапазоне от нуля до единицы, и величина однозначно коррелирует с обогатимостью руд.

Кроме этих данных для каждого агрегата (рис. 5.3, *в* и *г*) измеряется химический состав всего агрегата, матрицы и включений, выполняется автоматическая классификация и диагностика фаз в каждой точке накопления рентгеновских спектров (или сумме точек), а также измеряются периметры агрегатов с выделением части периметра, представленного матрицей агрегата, и части периметра, представленного включением (измеряется степень открытости назначенных включений на поверхности агрегата). Этими измерительными процедурами автоматически генерируются данные не только о химическом или модальном минералогическом составе по единичным зернам, агрегатам или включениям, но и устанавливаются количественные соотношения между разнородными элементами-носителями аддитивных свойств сложного объекта типа "куча". В табл. 5.1 в качестве иллюстративного примера приведены оценочные данные о рудах F1 и F2 (рис. 5.3), а в табл. 5.2 приведены данные по нескольким агрегатам в пробах этих же руд.

Таблица 5.1

Усредненные данные по зернам и агрегатам руд F1 и F2

Имя	$\mu\text{m}/\text{pix}$	Fr	Ngr	Nag	Ninc	Sgr	Sag	Sinc	%Na/g	%Sa/g	%Si/g	%Si/a	Pmat	Pi	%Pi/a
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
•F1: 53:29883	1.46	1	64	53	140	63478	29883	15044	83	47	24	50	1679	3199	66
•F2: 94:45520	1.75	1	181	94	236	101636	45520	3915	52	45	4	9	5528	1576	22

Сокращения в таблице (колонки 2–16): 2 – масштаб, $\mu\text{m}/\text{pix}$; 3 – кадр; 4 – число зерен; 5 – число зерен-агрегатов; 6 – суммарное число включений; 7 – суммарная площадь зерен; 8 – суммарная площадь агрегатов; 9 – суммарная площадь включений; 10 – процент агрегатов от общего числа зерен; 11 – процент площади агрегатов от суммарной площади зерен; 12 – процент суммарной площади включений от суммарной площади зерен; 13 – процент суммарной площади включений от суммарной площади агрегатов; 14 – суммарный периметр матрицы агрегатов; 15 – суммарный периметр включений на поверхности агрегатов; 16 – процент периметра всех включений на поверхности от суммарного периметра всех агрегатов. Площади выражены в пикселях, пересчет в μm^2 с использованием коэффициента в колонке 2.

В табл. 5.1 приведены данные о суммарном количестве зерен, определено какая часть из них представлена агрегатами, определены соотношения площадей (масс, после пересчета) рудных минералов от общего числа зерен и от числа агрегатов, степень экспонированности включений на поверхности агрегатов, причем величиной и соотношениями трех последних пара-

метров (колонки 12, 13 и 16 в таблице) определяется коэффициент извлечения металла при использовании той или иной промышленной технологии обогащения руд. Как пример детализирующей информации могут использоваться данные о каждом индивидуальном агрегате, которые также в качестве иллюстрации приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Данные по отдельным агрегатам руд F1 и F2

Имя	Кадр	Nag	Sag	Sinc	%Si/Sag	Pmatr	Pinc	%Pi/Pag
1	2	3	4	5	6	7	8	9
•F1: 1·618	1	1	618	551	89	6	77	93
•F1: 2·90	1	2	90	83	92	0	33	100
•F1: 3·474	1	3	474	114	24	118	49	29
•F1: 4·10	1	4	10	10	100	0	10	100
•F1: 5·38	1	5	38	38	100	0	19	100
•F1: 6·15	1	6	15	15	100	0	11	100
•F1: 7·907	1	7	907	649	72	17	250	94
••••••••••								
•F2: 1·354	1	1	354	5	1	59	0	0
•F2: 2·195	1	2	195	21	11	54	9	14
•F2: 3·4	1	3	4	4	100	0	4	100
•F2: 4·5	1	4	5	5	100	0	5	100
•F2: 5·3	1	5	3	3	100	0	1	100
•F2: 6·878	1	6	878	17	2	117	10	8
•F2: 7·1191	1	7	1191	268	23	87	63	42

Сокращения в таблице (колонки 2–9): 2 – кадр; 3 – номер агрегата; 4 – площадь агрегата; 5 – площадь включений в агрегате; 6 – процент площади включений в агрегате; 7 – периметр матрицы агрегата; 8 – периметр включения на поверхности агрегата; 9 – процент периметра включения от периметра агрегата. Единицы измерения – пиксели, 1 px = 1.46 и 1.75 μm для руд F1 и F2 соответственно.

Данные по агрегатам и данные по химическому составу агрегатов могут быть очень полезны для типизации руд по параметрам распределения разновидностей включений по гранулометрическим классам и также для характеристики руд, в которых полезный компонент присутствует в различных парагенезисах, возникших на различных этапах рудоформирования, включая различные варианты гипергенного изменения первичных руд с образованием зон окисления. Кроме того, такая детализация востребована при разработке схем обогащения в ходе пилотных экспериментов по извлечению. Например, одним из важных параметров является степень измельчения рудного питания, для чего проводятся специализированные лабораторные работы. Использование инструментария ImSca 3.2 позволяет в экспресс-режиме осуществлять оценку необходимой степени измельчения без проведения лабораторных опытов с пробами руд. Достигается это

тем, что кроме получения данных, приведенных в табл. 5.1 и 5.2, параллельно может быть получена информация по различным размерным интервалам зерен измельченной руды с определением суммарного (или раздельного по зернам) химического состава матрицы и рудной части всех зерен или только агрегатов-сростков рудных и нерудных минералов в пределах выделенного размерного класса, причем кроме получения данных, показанных в табл. 5.1, одновременно измеряется аналогичная информация для выделенного размерного интервала. Эта возможность проиллюстрирована на рис. 5.4.

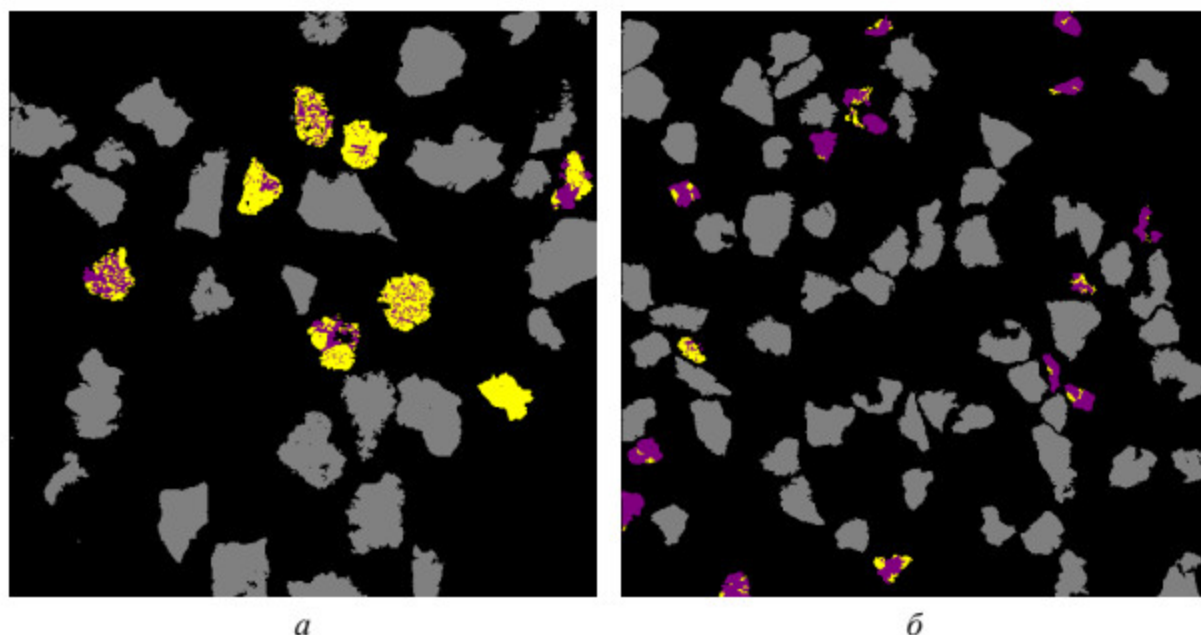


Рис. 5.4. Получение данных химического и фазового уровней по задаваемым размерным классам проб F1 и F2 (см. рис. 5.1): *а* – проба F1, размерный класс 80...140 μm; *б* – проба F2, размерный класс 40 μm. Желтым показаны рудные фазы, бордовым – матрица, серым – агрегаты за границами размерных классов

Беглый поверхностный анализ данных в табл. 5.1 показывает, что в первой и второй пробах (F1 и F2) доли агрегатов в рудах приблизительно равны (колонка 11: 47 и 45 %), доли площади включений в агрегатах существенно отличаются (колонка 13: 50 и 9 %), так же как различаются и доли периметра включений, находящихся на поверхности агрегатов (колонка 16: 66 и 22 %). Это означает, что в руде F1 флотацией может извлекаться дисперсная форма золота ($0.66 \cdot 0.50 = 0.33$, т. е. 33 %), причем гораздо лучше чем в руде F2 ($0.22 \cdot 0.09 = 0.02$, т. е. 2 %). При наличии в рудах зерновой формы золота суммарные коэффициенты извлечения увеличатся на долю золота в зерновой форме. Суммарный коэффициент извлечения для флотационной схемы обогащения будет определяться не столько валовым содержанием золота в рудах, сколько соотношениями

зерновой и дисперсной форм, а также долей включений-носителей металла в дисперсной форме, поверхность которых доступна для воздействия реагентов, используемых в обогатительном процессе. Если доля зернового золота в рудах F1 и F2 окажется одинаковой (доля зерновой формы выясняется в ходе параллельного модального анализа), то в руде F1 извлечение в концентрат будет на 31 % выше. Обогащение цианированием для данных руд в общем случае не будет более эффективным (это должно подтверждаться лабораторными опытами по обогащению), поскольку цианирование ориентировано только на зерновую форму с открытой поверхностью зерен. Для случая когда золото в рудах присутствует главным образом в зерновой, а не дисперсной форме, извлечение в концентрат цианированием будет выше для руды типа F2, поскольку доля включений минералов-носителей дисперсной формы (неизвлекаемая часть золота) в ней существенно ниже: только 4 %.

Кроме получения данных для объемной модели корректная информационная реплика объекта может использоваться для вовлечения некондиционных руд в производство. Если доля золота в зерновой форме в рудах типа F1 относительно невелика (руда забалансовая по величине извлечения), а значительная часть золота в дисперсной извлекаемой форме составляет десятки процентов (в рассмотренном примере 33 %), то корректная подшихтовка такой "некондиционной" руды с рудой, в которой золото находится в основном в зерновой хорошо извлекаемой форме, обеспечит приемлемый по экономике усредненный коэффициент извлечения, что, в свою очередь, позволит вовлекать в производство большие дополнительные объемы "некондиционной" руды и увеличить рентабельность производства.

Приведенный краткий анализ является хорошей иллюстрацией того, что коэффициент извлечения металла в концентрат определяется не валовым содержанием золота в руде месторождения и не модальной минералогией, о чем уже упоминалось ранее, а распределением золота по элементам-носителям аддитивных свойств (см. 2.3). При корректном выборе измерительной модели и граничных значений параметров рабочей области, а также приборов и инструментов вся необходимая информация корректно отобразится в информационной реплике, что открывает возможность использования полученных данных при подсчете запасов и построении объемной модели месторождения в ходе ГТК, включая картирование блоков по величине коэффициента извлечения металла, а также корректные аналитические данные могут быть

использованы для рудной подшихтовки и вовлечения некондиционных руд в обогатительный процесс в ходе эксплуатации месторождения. Отсутствие понимания того, что создание аутентичных информационных реплик рудных объектов и типов руд является необходимым элементом производственных работ, приводит к тому, что хорошо известно на практике: запасы подсчитаны, построена 3D-модель месторождения по значениям концентраций рудного компонента, на основе этой же аналитической парадигмы сконструирован обогатительный процесс, но при этом коэффициент извлечения в ходе промышленной эксплуатации месторождения "вдруг и по совершенно непонятным причинам" оказывается в интервале от единиц до десятков процентов, что делает работу на объекте нерентабельной. Своевременно выполненный рудный аудит позволяет устранить все негативные последствия, если управленцы-менеджеры окажутся в состоянии опираться не на экономические фантазии, а на объективные свойства руд.

В начале текущей главы уже обсуждалось, что полноценные информационные реплики (даже с определением значений параметров извлечения) всех разновидностей руд месторождения – это необходимое, но не достаточное условие для эффективного практического применения аналитических данных о свойствах руд в производственном процессе. Требуется большее: необходимо обеспечить синхронизацию производства корректных данных о свойствах руд с производительностью элементов всего производственного цикла от эксплуатационной разведки до получения товарных концентратов. Это требует пояснений.

Предположим на примере, что отработка месторождения проводится открытым способом. В этом варианте при подготовке очередного уступа для выемки руды выполняется опережающее бурение на глубину уступа (~ 5 м) с поинтервальным (~ 1 м) отбором шламовых проб. Если проходится по несколько десятков скважин в день, то количество проб для анализа на рудный компонент составит первые сотни проб в день. Для использования необходимых данных о свойствах руд и онлайн-включения их в объемную модель месторождения в соответствии с временным лагом между бурением и выемкой, предусмотренным регламентом ГТК (обычно в пределах 3–6 месяцев), необходима соответствующая технология производства информационных реплик, которая по производительности синхронизирована с сопряженными элементами работ на месторождении (бурение, отбор проб, первичная документация и пр.). Другими словами, необходимо получать аналитические

данные в количестве около 150 реплик в день (обрабатывать 150 проб в день). Только в этом случае в объемной модели месторождения могут быть своевременно оконтурены блоки в изолиниях коэффициента извлечения или блоки для отработки руды по наиболее эффективной технологии обогащения, и только в этом случае будет достигнута стратегическая цель: онлайн-подсчет извлекаемых (!) запасов. При должной организации аналитической лаборатории непосредственно на обогатительной фабрике месторождения (исключение логистических процедур и транспортировки проб) и при аккуратном и органичном включении аналитических работ по созданию информационных реплик с корректно обоснованной величиной КС в регламент ГТК такая производительность вполне реальна и достижима. Это означает, что получение полной онлайн-информации о химических и минералогических свойствах руд, а также о типах руд в параметрах извлекаемости при использовании той или иной технологии обогащения будет синхронизировано с производительностью бурения и отбора проб, предусмотренных регламентом ГТК, как следствие – своевременным отображением всех параметров в объемной модели месторождения и корректными онлайн-оценками рудных запасов.

Предложенные подход и технологию получения корректных информационных реплик типов руд месторождения по свойствам, определяющим величину коэффициента извлечения, полезно сравнить с существующей традиционной практикой характеристики руд в ходе ГТК с позиций извлекаемости, причем в контексте "старого" и "нового", которые уже были упомянуты в гл. 1.

Цель новых подходов – это отображение коэффициентов извлечения в объемной модели месторождения: разделение всего объема рудного тела в границах принятых бортовых содержаний на отдельные блоки по коэффициентам извлечения, что позволяет обеспечить предсказуемую и стабильную работу обогатительного производства. Ключевая логика – разделение комплексного рудного объекта на однородные части по измеряемым в пробах свойствам руд. Для реализации этой логики нарабатываются аналитические результаты по большому числу проб (десятки или даже первые сотни проб за один буровой день), которые служат основой для группировки проб по измеренным значениям свойств и последующего выделения однородных блоков по групповым свойствам. Логика и последовательность именно такие: сначала много результатов измерений и получение корректных информационных ре-

плек, затем группировка результатов с выделением групп (однородных объемов, технологических типов, блоков выемки). В этом контексте очевидно, что определяющим является синхронная с бурением обработка "большого числа проб" и "корректные информационные реплики". Это требование реалистично для новых подходов рудного аудита, но находится за пределами даже самых оптимистичных оценок возможностей традиционной практики работ.

Традиционные подходы (в отличие от технологий рудного аудита) при отображении коэффициентов извлечения в объемной модели месторождения используют диаметрально идеологию и методы, которые трансформируют сами цели работ. Сначала на уровне эмпирических экспертных предположений формируются объединенные пробы по буровым скважинам, причем в этот момент обычно (без проведения предварительных специализированных работ) неизвестны свойства руд, действительно обуславливающие величины коэффициента извлечения. Опыт показывает, что подобная объединенная проба может обобщать различные рудные разновидности, которые следовало бы относить к различным блокам (это будет правилом почти без исключений для руд 2–4-й групп сложности). Поскольку объединенные пробы формируются на принципах эмпирического усреднения, а не на реальных измеренных свойствах руд, то не вызывает удивления, что фактический коэффициент промышленного извлечения по месторождению оказался нестабильным и варьировал в интервале первые проценты–десятки процентов по золоту. Далее по традиционной схеме объединенные пробы тестируются на лабораторных установках, аналогичных промышленному оборудованию на данном производстве, и экспериментально (по факту) определяются коэффициенты извлечения, и именно эти данные находят отображение в объемной модели месторождения. Логичное следствие – виртуальным объединенным пробам соответствуют виртуальные данные по извлечению. Последствия предсказуемы и закономерны: руды месторождения признаны нерентабельными, несмотря на то что реальные свойства руд остались не установленными. Дополнительные проблемы возникают из-за недостаточной производительности лабораторных работ. Если принять, что лаборатория может обрабатывать до десяти объединенных проб в день, то для принятого временного лага между бурением и выемкой нетрудно оценить какой объем руды должен попадать в объединенную пробу, и этим же определится число рядовых проб при формировании объединенных. Грубая оценка показывает, что лабо-

раторная производительность до десяти объединенных проб в день недостаточна для бесперебойной работы всех производственных звеньев. Еще более критично, если в ходе лабораторных тестов время от времени будут получаться неоднозначные результаты и при выполнении дополнительных тестов речь пойдет уже не о пробах в день, а о днях на пробу.

По завершении работ по рудному аудиту на Варваринском месторождении были устранены все неясности с причинами вариаций коэффициента извлечения и в случае выполнения наших рекомендаций по включению необходимых работ в технологический регламент ГТК и выполнения работ по новому регламенту эксплуатация объекта могла быть продолжена без переоценки запасов. Однако отсутствие своевременного управленческого решения вынудило собственника пересчитать уже оцененные запасы руд с уменьшением от 18 до 9.5 т золота. Закономерный результат: 9 т золота из вполне кондиционных руд списаны в "бедные медные руды с попутным извлечением золота".

В заключение имеет смысл предложить рекомендацию для вменяемых управленцев, которая является общей для большинства рудных объектов, отнесенных к 2–4-й группе сложности. Рекомендация касается организации производственного процесса и затрагивает функционально разделенные на рудниках подразделения: службу главного геолога и службу главного обогатителя. Характер взаимоотношений между службами может быть очень различным: от полного взаимопонимания до полного взаимонепонимания, что в той или иной степени влияет на эффективность всего производства. На примере Варваринского золото-рудного месторождения показано, что корректная информационная реплика должна быть размещена в единой объемной модели месторождения, моделей не две, а одна, и она не является ни "геологической", ни "обогажительной".

В ходе ГТК в корректной 3D-модели внутри контура балансовых руд картируются обособленные блоки по параметрам геологических свойств руд (содержания рудных и сопутствующих компонентов, парагенезисы рудных минералов, тонковкрапленные, окисленные руды и др.), а также блоки, выделенные по параметрам технологических свойств руд и параметрам процесса обогащения: блоки с зерновой или дисперсной фазовой формой золота, отображаются виртуальные контуры процентных соотношений этих фазовых форм, средние значения аналитического гранулометрического класса форм-концентраторов золота, выделяются блоки по содержанию зерновой или величине извлекаемой части дисперсной формы, блоки по сквозному

коэффициенту извлечения металла и многие другие числовые характеристики геологических или технологических свойств, которые были получены при создании информационной реплики объекта. На практике возникает сложная дилемма: службы две, объемная модель одна и ни одна из служб не ориентирована на работу с информационными репликами объектов. Новая концепция по созданию информационных реплик оперирует понятиями, параметрами и технологиями вне обычных рамок геохимических или минералогических работ на рудных объектах, поэтому готовой типовой операционной и организационной среды для новых подходов еще не создано. Это означает, что задачи по отбраковке забалансовых руд по коэффициенту извлечения (не по бортовому содержанию), задачи по шихтованию различных разновидностей руд с целью вовлечения низкосортных руд в производство, задачи по онлайн-оценкам общих и извлекаемых запасов, задачи по выделению блоков для отработки по различным технологиям обогащения и многие другие важные для оперативного управления производством задачи требуют создания специализированных подразделений рудного аудита или переобучения специалистов подразделений близкого профиля технологиям рудного аудита.

Этот организационный аспект не является каким-либо звеном технологии рудного аудита, но он так же, как и любой другой элемент имеет собственное место в общем производственном процессе: рекомендуется иметь этот элемент в производственной структуре и использовать по функциональному назначению.

6. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕПЛИКИ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В гл. 1 указывалось, что область применения рудного аудита, находящаяся в поле зрения публикации, – это различные этапы создания и эксплуатации рудных объектов, однако принципы измерений и производства информационных реплик как естественных, так и искусственных объектов являются общими в теоретических и прикладных разделах естественных и даже некоторых гуманитарных наук. Новые подходы с успехом могут быть применены при изучении любых материальных объектов и в том числе искусственных, например веществ и субстанций, полученных при химическом синтезе или в результате физико-химических экспериментов по кристаллизации расплавов для построения фазовых диаграмм в материаловедческих задачах, а также при изучении археологических артефактов, например древней керамики.

6.1. Реплики археологических артефактов

Существенный комплекс измерений, использующийся для изучения или этнокультурного атрибутирования керамик, включает получение данных о химическом и минеральном составе артефактов. Не касаясь археологической интерпретации химических и минералогических свойств керамик, заметим, что сами свойства и результаты измерения свойств аналогичны тем, которые получают и используются при изучении терригенных осадочных горных пород или рыхлых осадков различной степени литификации. Керамики, как и песчаники, алевролиты и глинистые сланцы, имеют две основные составляющие: цемент-матрицу и обломочную часть. Измерение параметров фазового и химического уровня керамик как единых целостных объектов, а также параметров, отдельно характеризующих матрицу и обломочную часть, обеспечивает получение информационных реплик объектов с заданным уровнем КС реплики природному оригиналу.

На рис. 6.1 показаны два фрагмента керамики, для которых были получены данные по химическому и минералогическому составу с использованием технологий рудного аудита (применительно к контексту – объектного аудита). В дополнение к традиционному в археологии описательному подходу был предложен способ получения комплекса количественных данных, обеспечивающий возможность документации, сравнения и классификации отдельных артефактов по объективным и не вы-

зывающим археологических дискуссий числовым значениям интерпретационных параметров. Объективная количественная информация играет также важную роль при реконструкции источников материала для изготовления керамик и технологий древнего производства.

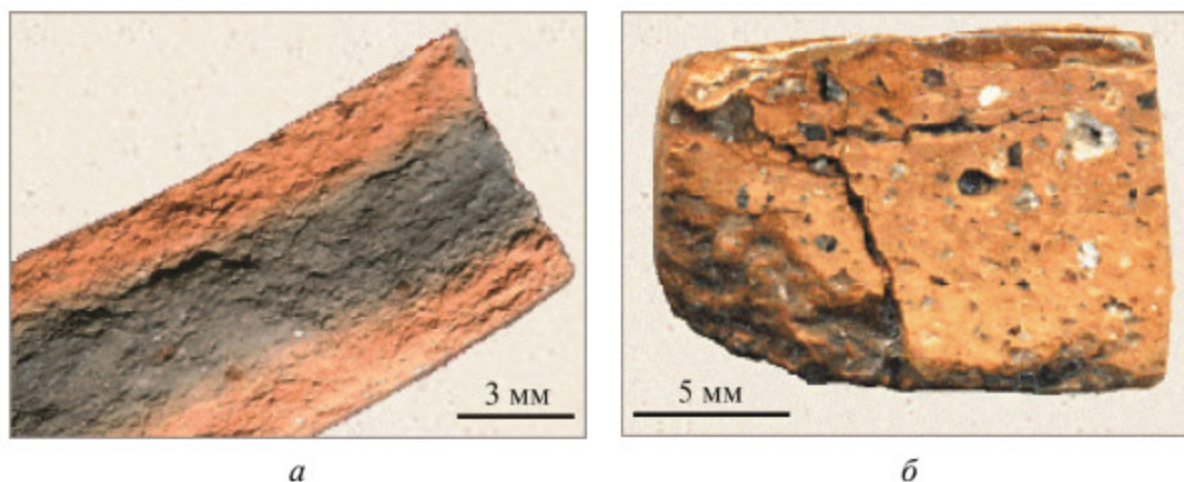


Рис. 6.1. Фото фрагментов керамических изделий: *а* – естественный поперечный скол, поселение К. Кривица 2, лепная керамика, Майкопская культура, бронзовый век; *б* – пришлифовка, дуговой кирпич, Псков, XVII (?) в. (материал из авторских коллекций Г. Н. Поплевко, ИИМК, Санкт-Петербург и Т. Ф. Прибуровой, АЦ, Псков)

В 2.3 и 2.4 указывалось, что для получения информационной реплики по измерительной модели типа "куча" необходимо принимать в расчет три основных параметра, определяющих размер рабочей области: чувствительность, аналитический гранулометрический класс и массу представительной пробы. Для археологических объектов процедура выбора граничных значений параметров осложнена необходимостью учета многих факторов, выходящих за границы собственно измерений. Каждый археологический артефакт уникален, и сам процесс изъятия даже очень небольших фрагментов объекта для выполнения исследований (ограничения по представительности и фазовой чувствительности) требует утомительных согласований и может растянуться по времени на всю оставшуюся жизнь.

Сложности только усугубляются тем, что в некоторых типах керамик максимальный размер терригенных зерен может достигать нескольких миллиметров и для небольших фрагментов возникает необходимость получать данные с различной чувствительностью или будет необходимо примириться с работой по непредставительным пробам для крупных фракций. Кроме того, изучение артефактов осуществляется на плоском срезе и без разрушения образца, что требует модификации из-

мерительной модели, и вместо массы навески (см. 2.4) необходимо перейти к плоскому сечению и пониманию чувствительности не в единицах массы, а в единицах площадей. Например, если изучается артефакт площадью 25 мм^2 ($5 \times 5 \text{ мм}$, логический аналог массы пробы), то площадка $0.25 \times 0.25 \text{ мм}$ (аналог зерна размером 0.25 мм) составит 0.25% ($0.25 \cdot 0.25 / 25 = 0.0025$), т. е. чувствительность работ для аналитического гранулометрического класса $< 250 \text{ мкм}$ составит 0.25% , что будет достаточно для решения большинства археологических задач. Для зерен размером 2 мм чувствительность составит только 16% для той же площади артефакта, а для зерен 0.1 мм – 0.04% .

Выбор граничных значений параметров рабочей области для чувствительности, размера зерен и площади препарата определяется особенностями состава конкретной группы изучаемых артефактов и выбирается исследователем перед началом работ, но во многих случаях размер площади образца $5 \times 5 \text{ мм}$ и верхняя граница гранулометрического класса 0.25 мм позволяют получать корректные информационные реплики и сравнивать большое число различных типов и видов керамики. Эти граничные значения были использованы для получения информационной реплики керамики К. Кривица 2 (рис. 6.1, а).

Технология получения результатов для образцов керамик К. Кривица 2 и АЦ30 включала приготовление плоских полированных сечений препаратов, диагностику различных терригенных зерен по химическому составу рентгеноспектральным методом (Hitachi S570, SDD-спектрометр, комплекс ImSca 3.2) и получение количественных данных о химическом и минералогическом составе каждой из составных частей керамик и всего образца в целом (рис. 6.2).

Валовый химический состав керамики и состав матрицы керамики достаточно близки, разница значений концентраций обычно не превышает первых процентов (см. график вычитания на рис. 6.3), поскольку отношение объемов матрицы и обломочной части для большинства керамик варьирует в интервале $3 : 2 - 3 : 1$ (оптимальные пропорции, чтобы керамика не растрескивалась при обжиге).

В состав типичных минералов обломочной части керамик (рис. 6.4) входят кварц, полевые шпаты, гранаты, рутил, апатит, оксиды-гидроксиды железа, ильменит, сфен, магнетит, циркон, фосфаты редких земель, сульфаты, амфиболы, пироксены и шамот: по терминологии археологов – это керамическая крошка в тесте необожженной керамики. При необходимости выполняются измерения пористости и документируются текстурные особенности керамики.

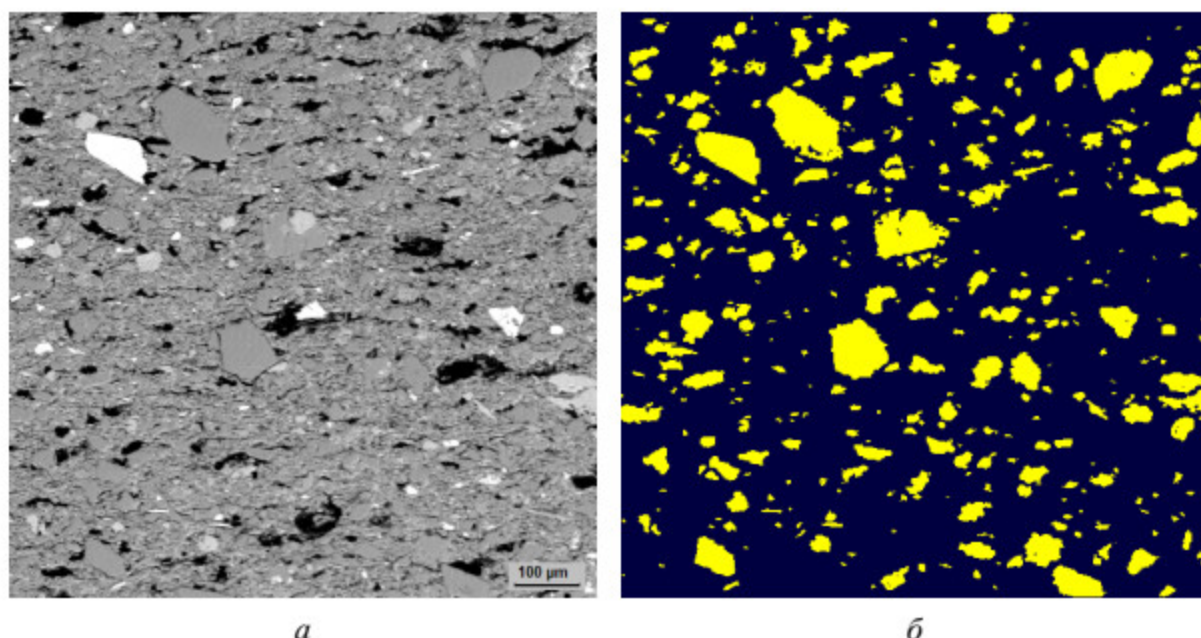


Рис. 6.2. Артефакт из поселения К. Кривица 2 (см. рис. 6.1, а): а – фрагмент керамики (512 × 512 пикселей, 1 пиксель – 1.79 μm) в отраженных электронах (RE): терригенные зерна минералов различного химического состава в тонкозернистой пористой глинистой матрице; б – то же поле зрения, подготовленное для раздельного определения химического состава матрицы и каждого зерна по равномерной сетке с шагом 2 × 2 пикселя для матрицы и с шагом 1 × 1 пиксель для каждого из 382 зерен.

Суммарные рентгеновские спектры каждого отдельного зерна автоматически классифицировались с подсчетом числа зерен и площадей зерен в каждом классе.

Для всей матрицы накапливался один суммарный спектр по кадру.

Для определения валового состава использовалась площадь всего кадра (матрица + зерна). Все работы выполнены с использованием комплекса ImSca 3.2

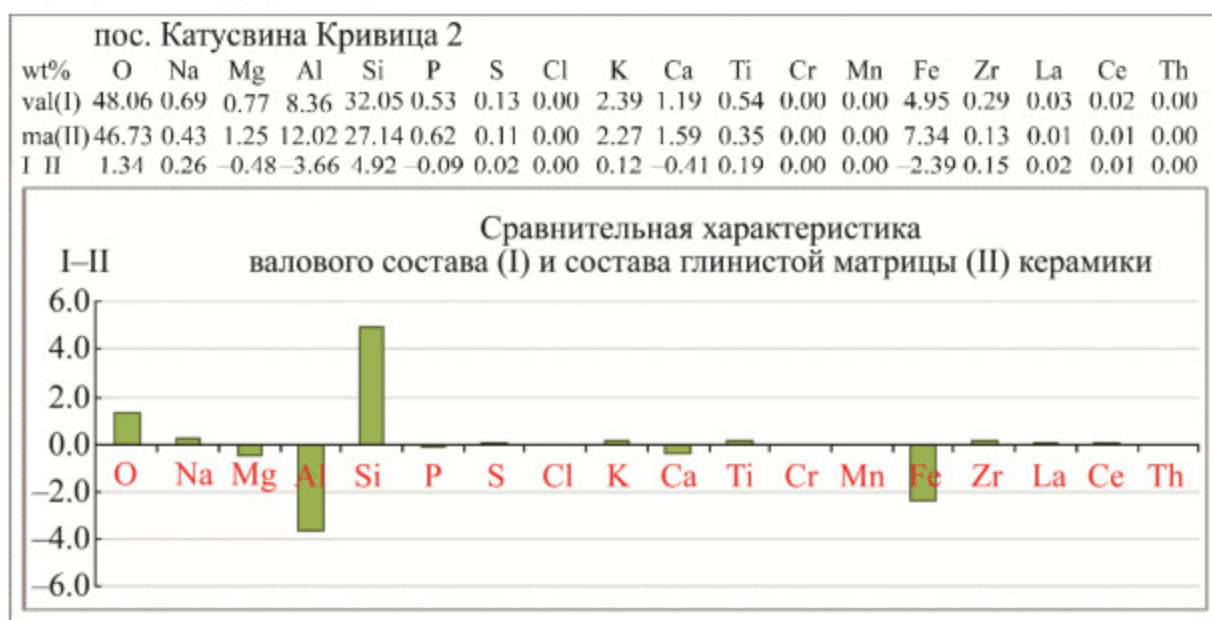


Рис. 6.3. Сравнение валового химического состава керамики с химическим составом матрицы (wt% – мас. % элементов; val – валовый состав; ma – матрица)

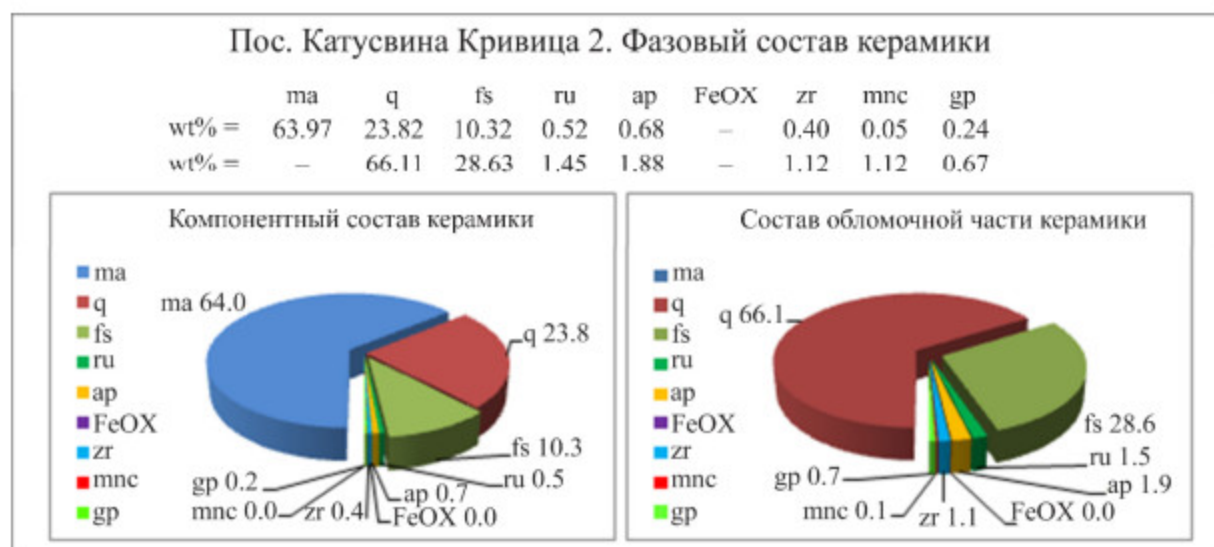


Рис. 6.4. Фазовый состав керамики поселения К. Кривица 2 (wt% – мас. %; ma – матрица; q – кварц; fs – полевые шпаты (калиевые и плагиоклазы); ru – рутил, TiO_2 ; ap – апатит; mnc – монацит и фосфаты редких земель; gp – гипс, сульфаты)

Кроме сведений по модальной минералогии по полученным данным построены гистограммы распределения зерен по гранулометрии (рис. 6.5).

Как видно из рис. 6.5, максимальный размер терригенных зерен составил $120.8 \mu\text{m}$, а средний размер – $23.8 \mu\text{m}$. Это означает, что выбранные граничные значения параметров рабочей области обеспечивают корректные измерения, причем реальная чувствительность работ оказалась избыточно высокой: для размера $120.8 \mu\text{m}$ чувствительность на площадке $5 \times 5 \text{ мм}$ составила 0.07 %, а для среднего размера $23.8 \mu\text{m}$ – 0.002 % или для заданной до начала работ чувствительности 0.25 % достаточно было провести измерения на площадке $2.4 \times 2.4 \text{ мм}$ (или для среднего размера – на площадке $0.48 \times 0.48 \text{ мм}$).

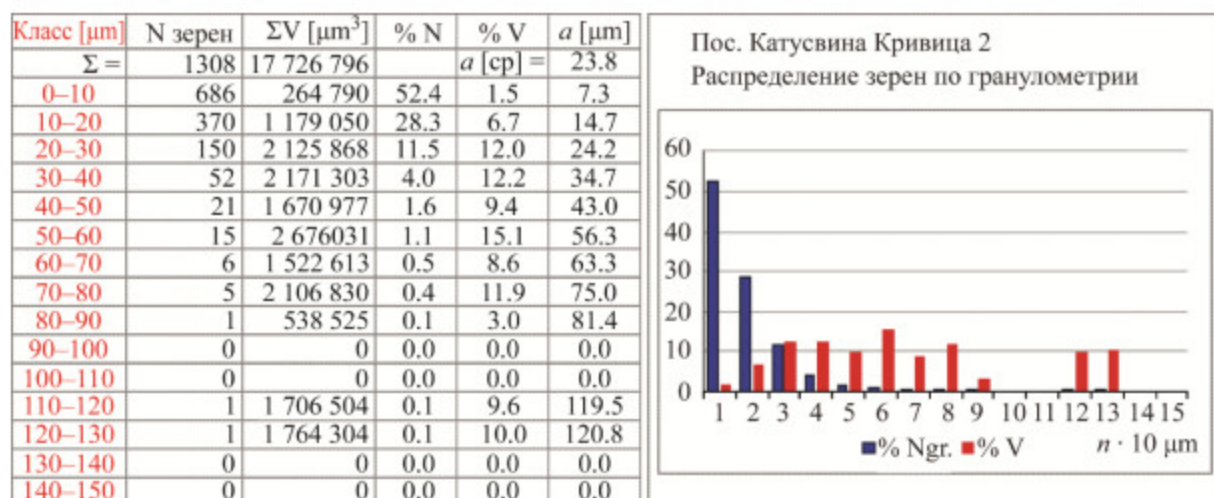


Рис. 6.5. Распределение минеральных зерен керамики К. Кривица 2 по размеру

Во втором изученном образце керамики АЦ30 (дуговой кирпич, см. рис. 6.1, б) в полном объеме были выполнены те же элементы работ, которые требовались для получения информационной реплики керамики К. Кривица 2, но размер рабочей области был увеличен. В отличие от керамики К. Кривица 2 с максимальным размером зерен до 0.15 мм в керамике АЦ30 размер зерен достигает 1.2 мм, что резко понижает чувствительность для относительно крупных зерен, если не увеличивать площадь изучения. Произвольное увеличение (варьирование) площади и размеров критично, поскольку нарушает метрологию: данные, полученные по разным образцам керамики, станут несоизмеримыми и воспроизведется ситуация, которая уже описывалась в гл. 2: псевдоизмерения при некорректной измерительной модели или некорректно выбранной рабочей области генерируют случайные числа вместо корректных измерений. Такие информационные реплики могут быть получены для каждого экземпляра объекта, но сравнение объектов делают сами измерения бессмысленными: "желтое" сравнивается с "горячим".

Так же, как и для керамики К. Кривица 2, валовый химический состав и состав матрицы керамики АЦ30 близки: максимальные различия концентраций химических элементов не превышают 5 % (диаграмма вычитания на рис. 6.6).

Сравнение валового состава керамик К. Кривица 2 и АЦ30 (рис. 6.7) показывает, что по этому параметру керамики практически идентичны и по каждому из элементов различаются менее чем на 2.2 %.



Рис. 6.6. Сравнение валового химического состава (val) керамики АЦ30 с химическим составом матрицы (ma), wt% – мас. % элементов

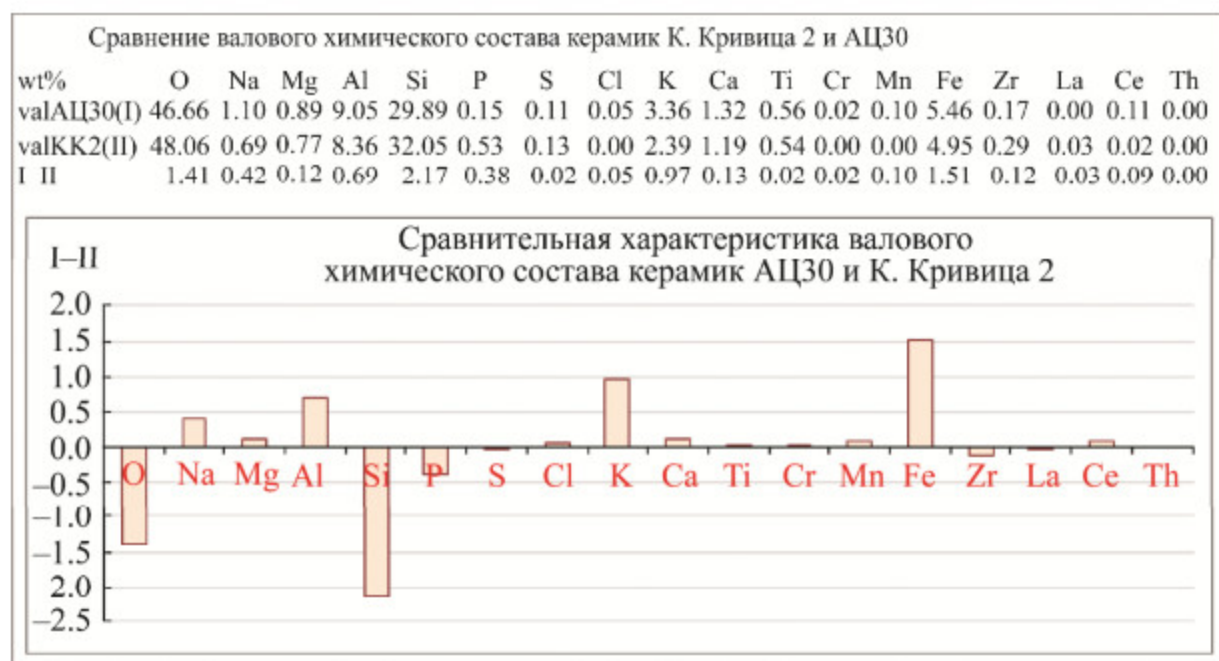


Рис. 6.7. Сравнение валового химического состава керамик АЦ30 и К. Кривица 2

Несмотря на сходство химического состава керамик и близость соотношений обломочной части и матрицы керамик (1.7 у К. Кривица 2 и 1.5 у АЦ30), керамики существенно различаются по минералогическому составу (рис. 6.4 и 6.8). Интерпретация данных выходит за рамки создания информационных реплик, но попутные комментарии, подчеркивающие логичность результатов измерений, могут оказаться востребованными.

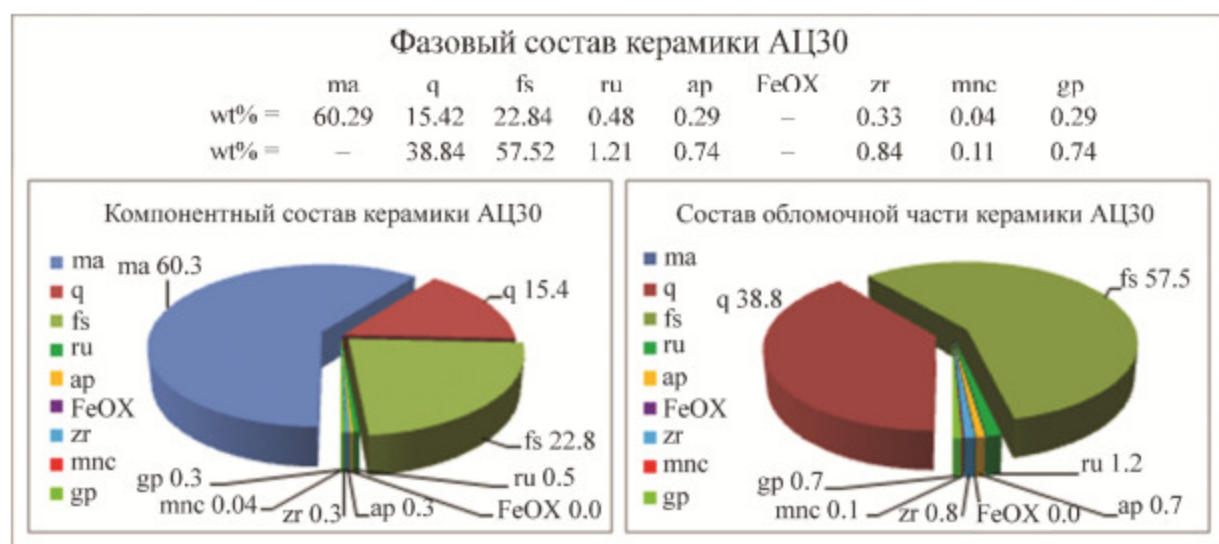


Рис. 6.8. Фазовый состав керамики АЦ30 (wt% – мас. %; ma – матрица; q – кварц; fs – полевые шпаты (калиевые и плагиоклазы); ru – рутил; TiO_2 ; ap – апатит; mnc – монацит и фосфаты редких земель; gp – гипс, сульфаты

Сходство химического состава керамик логично: глины смектитовой группы (или группы гидрослюд) обычны на всех континентах на всем временном интервале антропогенного периода, так же как и обычно

преобладание кварц-полевошпатовой основы большинства песчано-алевритовых осадков. Сравнимые керамики (ранний бронзовый век Предкавказья и средние века Пскова) сходны по химическому и по качественному минералогическому составу, но количественные соотношения минералов в большей мере отражают локальные ландшафтные, фациальные и климатические особенности осадконакопления (песчано-глинистые карьеры местные). По качественному составу, количественным соотношениям и текстурам керамик для каждого этнокультурного центра в определенное историческое время его существования реконструируются местные традиции и технологии приготовления керамического теста: методика выделения размерных фракций обломочной части из природного материала, методика смешивания с глинистой массой и методика придания формы и обжига изделия.

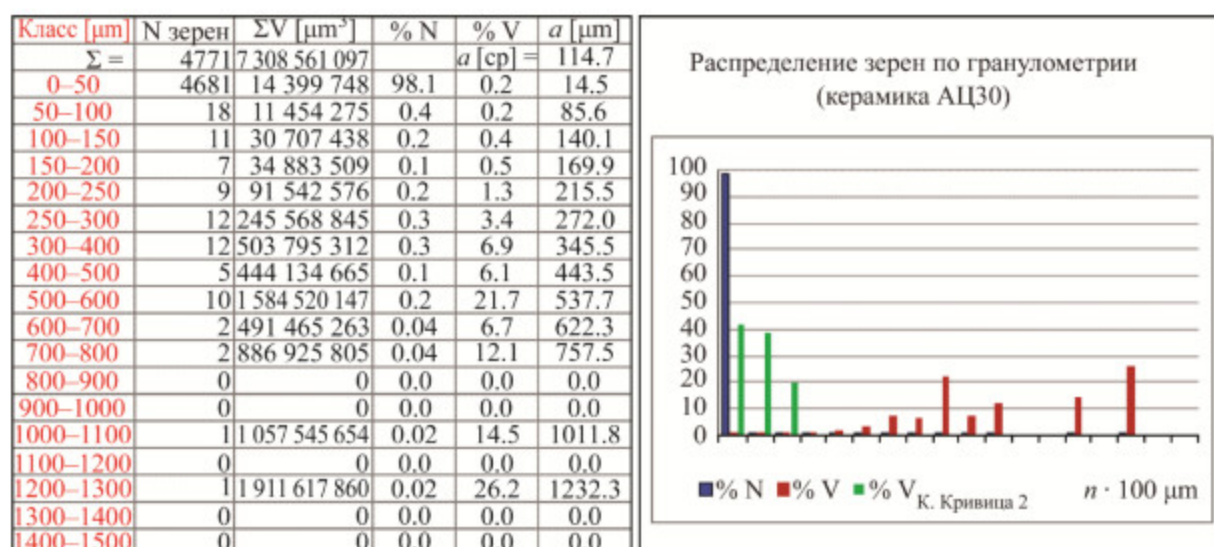


Рис. 6.9. Распределение минеральных зерен керамики АЦ30 по размеру. Для сравнения приведена гистограмма пробы К. Кривица 2 (по данным рис. 6.5)

Важная для археологических заключений информация содержится также в распределениях минеральных зерен обломочной части керамик по размеру (рис. 6.9), причем, если по условиям задачи потребуются более детальные данные, то распределения по размеру могут быть получены не только по всем зернам образца в сумме, но и отдельно по каждому из минеральных видов. Количество обломочной части, размер и распределение зерен по размеру имеют функциональный смысл: керамика делается для определенных целей и это находит отражение в материале. При создании информационных реплик эти особенности должны корректно отображаться, и, как это следует из примера с керамикой АЦ30, возникающие методические проблемы далеко не всегда легко преодолеваются.

Ранее уже обсуждалось, что ограничение по верхней границе granulometricheskogo класса $< 250 \text{ }\mu\text{m}$ позволяет с достаточно высокой чувствительностью получать данные о химическом и минералогическом составе при наличии даже очень небольших фрагментов керамики $5 \times 5 \text{ мм}$. Если исследуемая группа образцов керамики может быть охарактеризована в рабочей области с такими граничными значениями параметров, то все результаты будут соизмеримыми и археологические заключения, базирующиеся на таких данных, приобретают абсолютный для заданного контекста смысл. В противоположность, для образцов, область измерений параметров которых превосходит принятые ограничения рабочей области (например, для керамики АЦ30), корректные сопоставления данных во всем размерном диапазоне $< 1.2 \text{ мм}$ невозможны (увеличивать площадь анализа нельзя из-за дефицита материала). В этом случае потребуются аргументированный выбор исследователя, который может в качестве одного из вариантов предусматривать мнемоническое разбиение размерного диапазона на две части: 1) менее $250 \text{ }\mu\text{m}$ – в этом поддиапазоне возможны корректные сравнения со всеми другими образцами; 2) более $250 \text{ }\mu\text{m}$ – в этом диапазоне все измерения будут выполняться с переменной чувствительностью со всеми вытекающими следствиями.

В примерах, рассмотренных ранее, речь шла только о грубой каменной керамике, однако технологии получения информационных реплик гораздо более эффективны для изучения, каталогизации, выполнения исторических и искусствоведческих реконструкций и заключений для тонкой керамики: фарфор, фаянс, майолика. Количественные данные по основе керамики и глазури предоставляют большие возможности для археологов и искусствоведов.

6.2. Реплики объектов физико-химических экспериментов

Построение диаграмм состояния бинарных или многокомпонентных систем сопровождается измерением химического и фазового состава большого числа образцов, полученных в результате выполнения физико-химических экспериментов. В числе других параметров документируются элементный химический состав всей системы и отдельных подсистем (если они присутствуют), объемные или массовые соотношения между подсистемами, фазовый состав системы и каждой подсистемы, состав отдельных фаз и количественные соотношения между фазами в системе и подсистемах.

Технологии создания информационных реплик объектов и вещественных результатов физико-химических экспериментов имеют специфику по отношению к технологиям объектного аудита (см. гл. 1). В 2.6 указывалось, что в "технологиях производства" и "технологиях отображения" создается утилитарный продукт с заранее заданными свойствами: для технологий отображения утилитарный продукт – это информационная реплика, аутентичность которой природному оригиналу определена КС. Однако для экспериментальных и исследовательских задач ни одна из этих технологий не применима без модификаций: при планировании эксперимента результат в виде "утилитарного продукта с заданными свойствами" еще точно не определен, и если он и предвиделся, то только в самом общем виде с неопределенными свойствами, поскольку сама измерительная модель только предполагается, но точно еще не определена. Несколько упрощая – поиск адекватной измерительной модели часто составляет цель самого исследования.

Для подобных случаев целесообразно применять понятие "исследовательская технология" и учитывать специфику производимых информационных реплик экспериментальных продуктов. Главным отличием реплик этого типа будет отличие в механизме оценки КС, который будет в рамках выбранной измерительной модели характеризовать не столько обоснованность и корректность всего процесса отображения информации (сочетания коэффициентов трансляции звеньев, см. 2.6), сколько метрологическую состоятельность самих элементов и звеньев технологии и инструментов измерения. Это не означает, что отменяются принципы конструирования технологий, метрология измерений и необходимость аргументированно осуществлять выбор измерительной модели и граничных значений параметров рабочей области. Все эти понятия и параметры остаются активными, но могут приобретать специфику, как это, например, было сделано при изучении керамик (см. 6.1): понятие чувствительности работ было приспособлено к типу задач и массовые единицы (см. 2.4, (2.1)) были заменены единицами измерения площадей. При этом логика процедуры не изменила сути: чувствительность – минимальная порция (масса, объем, площадь), которая встроена в процесс выполнения измерений и в процесс оценки качества выполненных измерений (оценка КС). В приложении к задачам по построению диаграмм состояния чувствительность может быть определена как наименьшая единица (массы, объема, площади...), которая будет документироваться и приниматься в расчетах граничных значений параметров рабочей области. Например,

если задана чувствительность на элементарный объем $5 \mu\text{m}^3$, то при цифровой обработке материала с использованием электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа масштаб работ (увеличение объекта или $\mu\text{m}/\text{pix}$) должен обеспечивать отображение измеряемого свойства в одном пикселе изображения $2.4 \mu\text{m}$. Это означает, что заданная величина чувствительности определит не только метрологию измерений, но и предъявит требования к инструментам измерения и персоналу (см. рис. 2.10).

Для исследовательских задач в области экспериментальной физической химии одним из немногих практичных и многофункциональных инструментов, позволяющим выполнять все необходимые виды измерений, является программно-аппаратный комплекс ImSca3.2. Программный интерфейс комплекса представлен на рис. 6.10.

Отличительной особенностью комплекса является большая гибкость выделения отдельных объектов и групп объектов для определения химического и фазового состава, наличие большого числа комбинаций вариантов сбора и онлайн-обработки рентгеноспектральной информации и сигналов от различных детекторов, что по всеохватности сближает комплекс ImSca3.2 с "эвристической машиной" Эдельвейса Машкина¹ со встроенными анализатором и думателем.

На рис. 6.11, *а* приведено изображение полифазного кристаллического королька после его кристаллизации из расплава, полученного в одном из экспериментов при нагревании исходных веществ: смеси $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$ с соотношением по массам 2 : 1. Для выбранного масштаба работ чувствительность составила $1.17 \mu\text{m}$. Различные фазы королька расклассифицированы по среднему атомному номеру ($Z_{\text{ср}}$) фаз, яркость которых в градациях серого пропорциональна плотности и на рис. 6.11, *б* показана цветом. Текстура королька блочная: различные участки-блоки имеют относительно однообразные внутренние структуры и фазовый состав.

¹ Аркадий и Борис Стругацкие "Сказка о тройке". Старикашка Эдельвейс с механической печатной машинкой: "... эвристическая машина ... Точный электронно-механический прибор для отвечаия на любые вопросы, а именно – на научные и хозяйственные. Как она у меня работает? Не имея достаточно средств и будучи отфутболенным различными бюрократами, она у меня пока не полностью автоматизирована. Вопросы задаются устным образом, и я их печатаю и ввожу ей вовнутрь, довожу, так сказать, до ейного сведения. Отвечание ейное, опять же через неполную автоматизацию, печатаю снова я. ...Внутре смотрите, ... у нее анализатор и думатель".

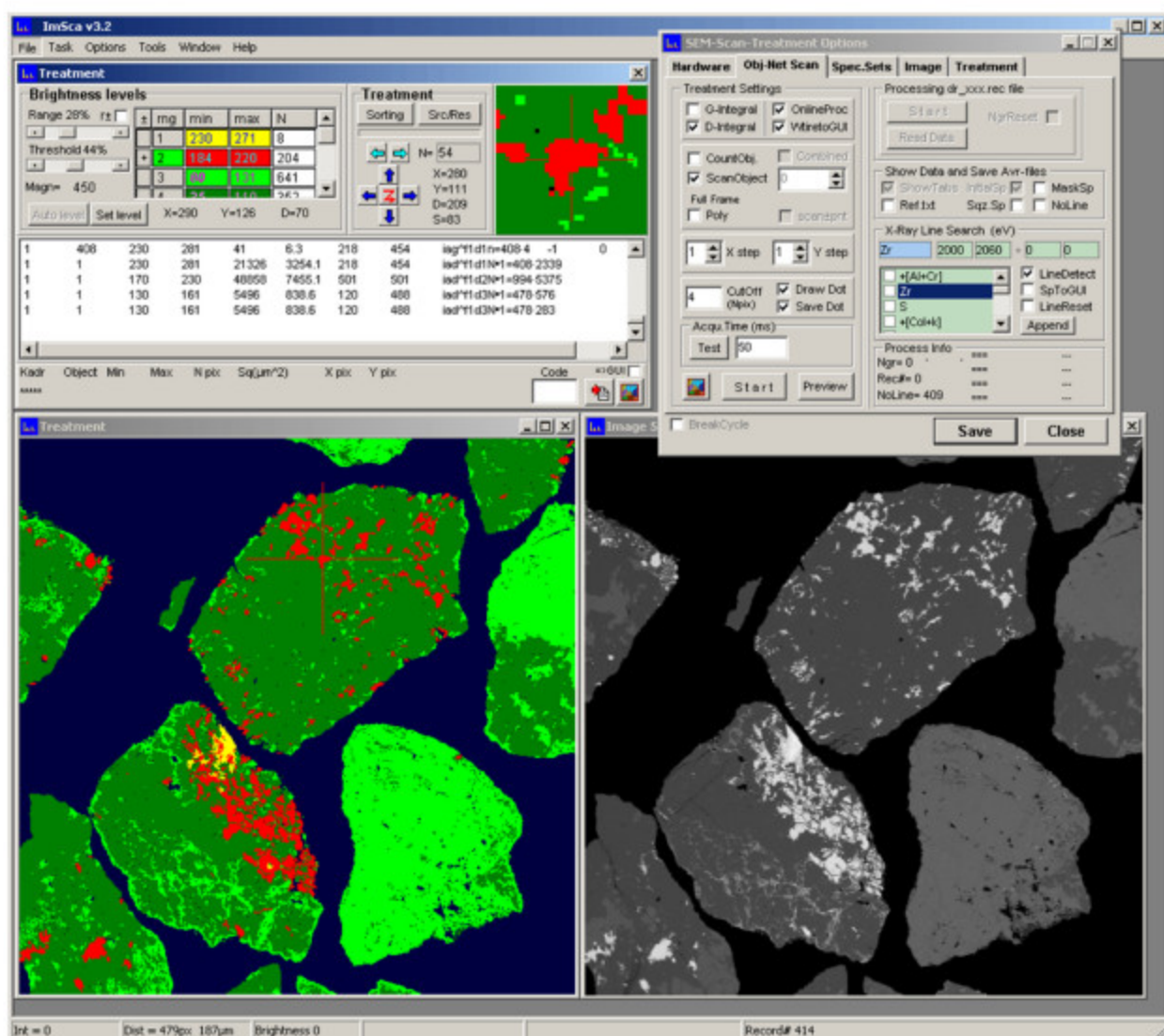


Рис. 6.10. Окно программного интерфейса ImSca3.2, обеспечивающего документацию комплексных объектов по измерительной модели "куча" (см. 2.3). Исходное (справа снизу, RE-режим, 512×512 px) и расклассифицированное по Z_{cp} изображение объекта. Вложенное окно Treatment содержит информацию о плотностных (цветовых) диапазонах, числе объектов в диапазонах, данные по позиционированию электронного зонда и часть справочной информации о каждом элементарном объекте

Построение диаграмм состояния предусматривает полную раздельную документацию по химическому и фазовому составу каждого блока для реконструкции хода кристаллизации расплава. На рис. 6.12, а–е приведены изображения королька с маркировкой красным цветом точек (пикселей) сбора рентгеноспектральной информации для определения химического состава: а и б – с единичным интервалом между точками для определения валового состава на площади; в–е – с нулевым интервалом для определения суммарного химического состава в одном из блоков королька по каждому из цветовых диапазонов блока (рис. 6.12, б).

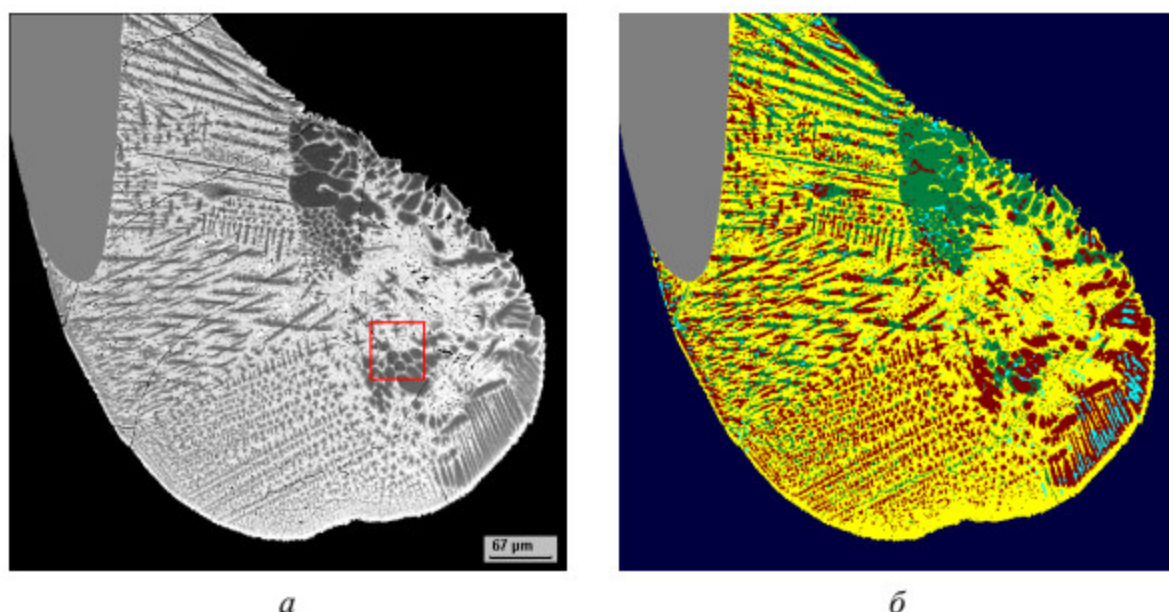


Рис. 6.11. Изображение кристаллического королька в РЕ-электронах и это же изображение, расклассифицированное по среднему атомному номеру (Z_{cp}) фаз, с использованием аналитического комплекса ImSca 3.2. Серое поле в левом верхнем углу – нагреватель

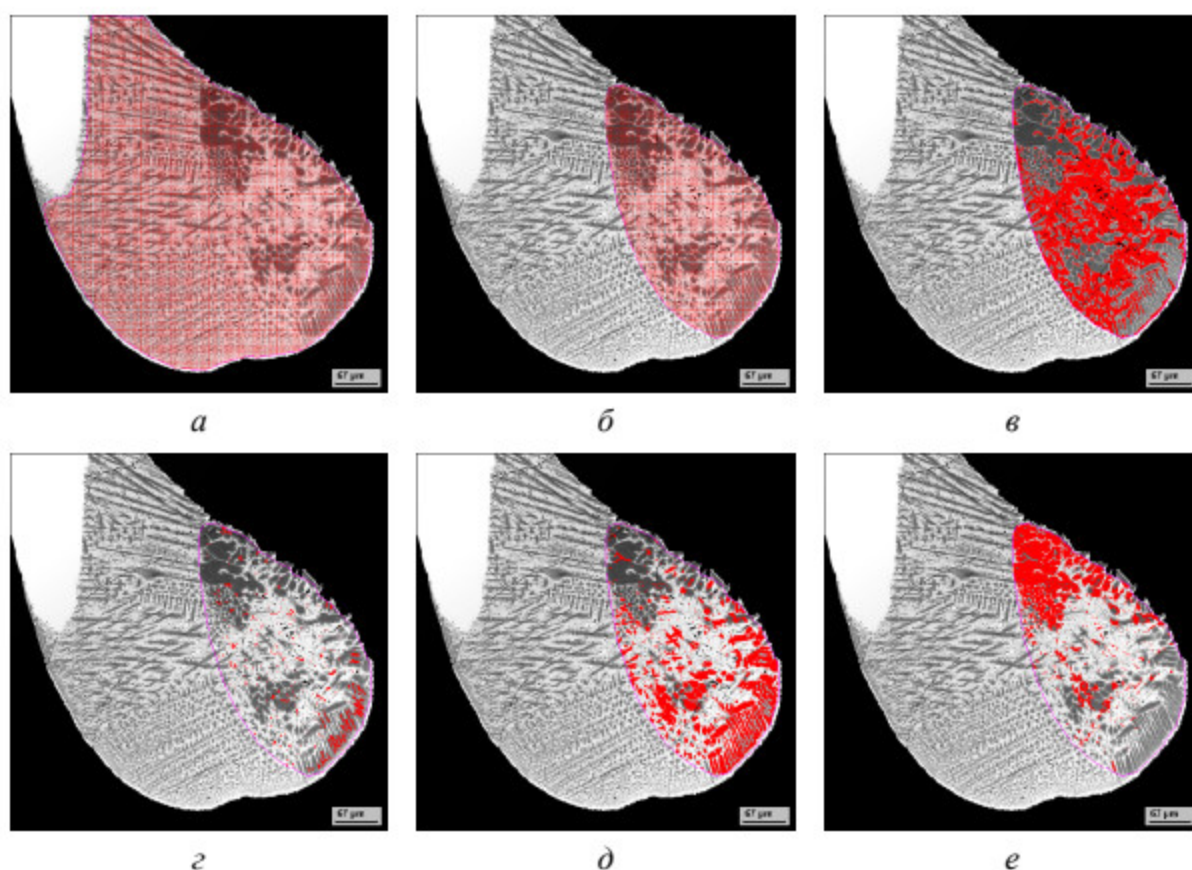


Рис. 6.12. Получение данных о химическом составе королька: *а* – площадь анализа для определения валового состава королька; *б* – площадь анализа для определения валового состава текстурно обособленного блока королька; *в–е* – площади анализа для отдельного определения состава отдельных фаз блока королька

В этом задании к эксперименту предусматривалось накопление суммарных спектров по каждой фазе (точнее, по яркостно-плотностным диапазонам) интересующего блока для диагностики фаз, определения их химического состава и установления количественных соотношений между фазами (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Химический состав и соотношение фаз

ат %	Ti	Fe ^{III}	Fe ^{II}	O	%, площ.
Вал королька	25.3		12.3	62.5	
Вал блока	27.5		8.8	63.7	100.0
Ф1	21.9		15.6	62.5	46.8
Формула	1.75	0.50	0.75	5.00	
Ф2	24.6		13.0	62.5	4.1
Формула	1.96	0.07	0.96	5.00	
Ф3	28.6		7.1	64.3	26.9
Формула	4.00		1.00	9.00	
Ф4	32.4		1.3	66.2	22.2
Формула	0.96	0.04		1.98	

Примечание. Ф1 и Ф2 отвечают стехиометрии армалколита $Ti_2Fe^{II}O_5$; Ф3 – стехиометрии фазы $Fe^{III}Ti_4O_9$; Ф4 – фазы TiO_2 . В формулах Fe^{III} рассчитано по стехиометрии.

Вариант фазовой диагностики по суммарным спектрам цветовых-плотностных диапазонов блоков в большинстве случаев поставляет достаточно точные количественные данные, но для повышения точности (и увеличения КС) может потребоваться онлайн-диагностика и классификация фаз не только по плотностным диапазонам, но и по химическому и фазовому составу.

В варианте работ с получением более детальной информации производится увеличение чувствительности работ. Результаты измерений, полученные с увеличенной чувствительностью, не имеют принципиальных отличий от предыдущих и могут быть без потерь интегрированы в общую систему данных по объекту. Увеличенная чувствительность приводит к уменьшению погрешности измерений и увеличивает суммарное значение КС работ. На рис. 6.13, а приведен фрагмент, отмеченный на рис. 6.11, а, в котором размер единичной площадки для документации (чувствительность) уменьшен около 10 раз и соответствует размеру одного пикселя на изображении: $0.12 \mu m$ ($0.0144 \mu m^2$).

В зависимости от целей детализации с такой чувствительностью могут быть выполнены различные задания, но это не изменит технологии работ в целом, а изменятся лишь граничные значения параметров

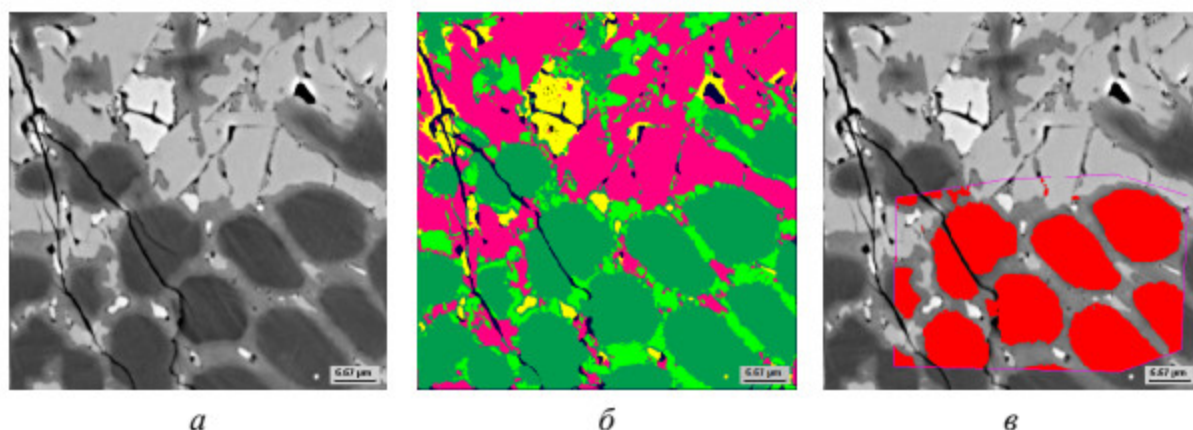


Рис. 6.13. Площадь детализации королька: *а* – фрагмент в отраженных электронах (см. рис. 6.11, *а*); *б* – оцифрованное изображение фрагмента; *в* – полигон с точками накопления спектров по одной из фаз

рабочей области. В качестве примера на рис. 6.13, *в* показан полигон, внутри которого выполнено измерение химического состава одной из фаз с нулевым шагом (расстояние между точками анализа $0.12\ \mu\text{m}$). Аналогичные измерения могут быть выполнены отдельно по каждой из фаз и суммарно по всей площади детализации с автоматической классификацией и группировкой спектров в каждой точке анализа или каждого зерна по интегральному спектру всей фазы.

Изучение королька как единого целостного комплексного объекта с использованием измерительной модели типа "куча", получение данных по отдельным блокам или отдельным элементам блоков продуцирует исчерпывающую однородную с метрологических позиций информацию химического и фазового уровней при выполнении физико-химических экспериментов, что обеспечивается корректным выбором технологий и инструментов измерения. Гибкость и тонкая настройка технологии измерений под задачу при помощи системы ImSca 3.2 обеспечивают высокую производительность и эффективность работ этого типа: получение итогового результата в виде корректных информационных реплик объектов и корректные реконструкции физико-химических процессов.

Научное издание

Владимир Владимирович Кнауф
Олег Владимирович Кнауф

Информационные реплики объектов и рудный аудит

Редактор И. Г. Скачек

Компьютерная верстка Е. Н. Стекачевой

Подписано в печать 25.12.21. Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Гарнитура «Times New Roman». Печ. л. 11,25.

Тираж 500 экз. (1-й завод 1–50 экз.) Заказ .

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5