

# Отечественная ГЕОЛОГИЯ

**1933**

**2003**



**2/2003**

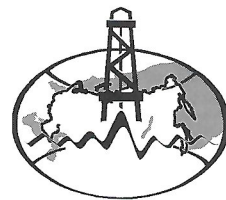




**ЗА ЗАСЛУГИ В РАЗВИТИИ НАУКИ  
И ЭКОНОМИКИ РОССИИ  
ПРЕЗИДИУМ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
НАГРАДИЛ ЖУРНАЛ  
“ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ”  
ПОЧЕТНЫМ ЗНАКОМ АКАДЕМИИ**



# Отечественная ГЕОЛОГИЯ



Журнал выходит один раз в два месяца

Основан в марте 1933 года

## 2/2003

Учредители:

Министерство природных  
ресурсов РФ

Российское геологическое общество

Центральный

научно-исследовательский

геологоразведочный институт

цветных и благородных металлов

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор А. И. Кривцов**

Бюро: *И.Ф.Глумов, Р.В.Добровольская (зам. главного редактора), В.А.Ерхов, В.И.Казанский, А.А.Кременецкий, Г.А.Машковцев, Н.В.Милетенко, Л.В.Оганесян (зам. главного редактора), М.В.Рогачева (отв. секретарь), А.Ю.Розанов, Г.В.Ручкин (зам. главного редактора), Б.А.Соколов, В.И.Старостин, А.А.Шпак*

Редсовет: *А.Н.Барышев, Э.К.Буренков, В.С.Быкадоров, Г.С.Вартанян (председатель редсовета), В.И.Ваганов, Н.Н.Ведерников, А.И.Жамойда, А.Н.Золотов, М.М.Константинов, Т.Н.Корень, Л.И.Красный, Н.К.Курбанов, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев, В.М.Питерский, В.Ф.Рогов, Е.И.Семенов, В.В.Семенович, В.С.Сурков, В.А.Ярмолук*

МОСКВА



|                                                                                                                                                                                                 |    |                                                                                                                                  |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Проект «Классификации запасов, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов» (разослан МПР России 06.02.2003 г.) . . . . .                                                         | 9  | Колин М.Ф., Усова Т.Ю.<br>Минерально-сырьевая база редких металлов России: проблемы и решения . . . . .                          | 58 |
| Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Михайлов Б.К.<br>Ресурсы, запасы, стадийность геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые . . . . .                                                | 16 | Рафаилович М.С., Вострокнутова А.И.<br>Крупные золоторудные месторождения Казахстана . . . . .                                   | 63 |
| Морозов А.Ф., Карпузов А.Ф., Петров О.В.<br>«Отечественная геология» и российская геологическая картография . . . . .                                                                           | 24 | Усманов Ф.А., Исаходжаев Б.А.<br>Статистический металлогенический анализ: оценка ресурсов скрытых рудных месторождений . . . . . | 67 |
| Лаверов Н.П., Кременецкий А.А., Буренков Э.Л., Головин А.А.<br>Прикладная геохимия — проблемы и пути развития . . . . .                                                                         | 27 | Жураев Х.Х., Зималина В.Я., Исаков М.У.<br>Геологические особенности золоторудного месторождения Аджибугут . . . . .             | 75 |
| Перцов А.В., Антипов В.С., Гальперов Г.В.<br>Семь десятилетий аэрокосмических методов геологических исследований России . . . . .                                                               | 32 |                                                                                                                                  |    |
| Иванов В.Л., Андреев С.И., Грикуров Г.Э., Додин Д.А., Каминский В.Д., Лейченко Г.Л., Мурзин Р.Р., Супруненко О.И.<br>Ключевые проблемы полярной и морской геологии на пороге XXI века . . . . . | 36 | ИЗ РЕДАКЦИОННОЙ ПОЧТЫ                                                                                                            |    |
| Вартанян Г.С.<br>Геодинамические процессы во флюидосфере и некоторые их следствия . . . . .                                                                                                     | 44 | Семенович В.В. Некоторые проблемы формирования и динамики глубинных вод . . . . .                                                | 87 |
| Леонов Ю.Г., Певзнер Л.А., Савельева Г.Н., Хуторской М.Д.<br>Уральская сверхглубокая скважина — окно в глубины складчатых поясов . . . . .                                                      | 51 | Красный Л.И. «Советская геология» — «Отечественная геология» — многолетнее (1938—2000 гг.) содружество . . . . .                 | 90 |
|                                                                                                                                                                                                 |    | 90-летие Николая Алексеевича Шилов . . . . .                                                                                     | 93 |
|                                                                                                                                                                                                 |    | Информация Российского геологического общества . . . . .                                                                         | 95 |

Редакция: Р.В.Добровольская, М.В.Рогачева  
Верстка и оригинал-макет Н.П.Кудрявцева

Подписано в печать 27.03.2003. Формат 60×88/8. Бумага мелованная.  
Печать офсетная. Тираж 2000 экз.

Адрес редакции: 117545 Москва, Варшавское шоссе, 1296.  
Телефон: 315-28-47. Факс: 313-18-18. E-mail: tsnigri@tsnigri.ru



## Уважаемые коллеги!

В преддверии нашего профессионального праздника, Дня геолога, исполняется 70 лет одному из старейших геологических журналов России — «Отечественная геология».

Журнал под названием «Проблемы советской геологии», основанный выдающимся советским геологом, академиком Иваном Михайловичем Губкиным, сохранил свой стиль и научную направленность и после переименований в «Советскую геологию» и «Отечественную геологию». Традиции журнала поддерживались и развивались трудами его главных редакторов И.Ф.Григорьева, Е.Т.Шаталова, И.А.Беляевского, Г.И.Горбунова, Н.П.Лаверова, В.М.Волкова, А.И.Кривцова.

За эти годы редакционной коллегией журнала много сделано и делается для демонстрации минерально-сырьевого потенциала России и ее регионов, пропаганды научно-технических достижений и передовых научных разработок в области наук о Земле. Страницы журнала не раз становились полем жарких научных споров и дискуссий представителей различных геологических школ и научных теорий. В последние годы журнал поддерживает и развивает научно-практические связи между геологами стран Содружества Независимых Государств (СНГ). В этот славный юбилей хочу пожелать редколлегии журнала «Отечественная геология», его авторам и издателям новых творческих побед и интересных публикаций в сфере геологического изучения недр России.

Руководитель  
Государственной геологической  
службы России,  
заместитель министра

П.Садовник

## **Коллективам редакции и редколлегии журнала «Отечественная геология»**

**Дорогие коллеги!**

Президиум Российского геологического общества поздравляет вас с 70-летием со дня основания журнала «Советская геология»—«Отечественная геология».

Журнал, основанный по инициативе академика И.М.Губкина, был и остается одним из важнейших периодических изданий геологического профиля. Он получил широкое признание как в нашей стране, так и за рубежом. На страницах журнала с фундаментальными работами выступали крупнейшие отечественные геологи-ученые и практики. Печататься в журнале было и остается престижным для авторов самого высокого ранга.

За ушедшие годы «Отечественная геология» развивала и укрепляла свои традиции, сохранила лидерство по освещению проблем геологии на стыке фундаментальных и прикладных исследований.

«Отечественная геология» сохранила свои традиции, невзирая на скоротечную конъюнктуру и модные течения. Журнал всегда опережал время и сейчас устремлен в будущее.

«Отечественную геологию» традиционно возглавляли крупные отечественные ученые, отстаивавшие его высокий авторитет и научную принципиальность.

Президиум РосГео желает членам редколлегии и редакции здоровья, успешной работы во имя сохранения и развития лучших традиций «Отечественной геологии».

Президент РосГео

В.П.Орлов



## **Уважаемые коллеги!**

70 лет назад, в 1933 г., вышел первый номер ежемесячного научного геологического журнала «Проблемы советской геологии». Издание его было организовано по инициативе академика И.М.Губкина, одного из основателей Советской геологической службы и первого редактора журнала. Перед новым журналом была поставлена цель — «объединение теоретической мысли в области геологии и направление ее на обслуживание задач по подготовке минерально-сырьевой базы отечественной промышленности».

На его страницах нашли отражение крупные достижения в изучении геологического строения нашей страны, в познании закономерностей формирования и размещения месторождений минерального сырья. Впоследствии журнал получил название «Советская геология», а затем «Отечественная геология», сохранив при этом стиль и традиции, заложенные в первые годы его создания.

В настоящее время, благодаря усилиям членов редколлегии журнала, куда входят ведущие российские ученые-специалисты в различных областях геологии, традиции журнала поддерживаются и развиваются. Вы многое делаете для пропаганды научно-технических достижений и передовых разработок в области наук о Земле, важнейших результатов прикладных работ. На страницах журнала публикуются статьи по крупным проблемам геологической науки, новым принципам прогноза, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых. Большое значение вы уделяете публикации новейших методов исследований, изучению геологической структуры, глубинного строения основных нефтегазоносных и рудных районов страны.

Отделение наук о Земле РАН поздравляет редколлегию с юбилеем журнала «Отечественная геология» и желает дальнейших творческих успехов на благо российской науки.

Академик-секретарь  
Отделения наук о Земле РАН

О.А.Богатилов

## **Редакционной коллегии и сотрудникам редакции журнала «Отечественная геология»**

Российская академия естественных наук сердечно поздравляет редакционную коллегию, сотрудников редакции, авторский актив и читателей со знаменательной датой — семидесятилетием журнала.

Журнал на протяжении 70 лет ведет активную пропаганду профессиональных геологических знаний и геологоразведочного производства.

На страницах журнала систематически публикуются статьи ведущих российских ученых-геологов и организаторов производства, что способствует повышению научно-методического уровня, эффективности и качества геологоразведочных работ в стране. Особенно большое внимание уделяется научному обоснованию направлений геологоразведочных работ на нефть и газ, редкие, цветные и благородные металлы и агрохимическое сырье. Журналом ставились вопросы прогноза и оценки месторождений нефти и газа в Волго-Уральской области, Западной Сибири, Прикаспийской впадине и других регионах, бокситов на Урале, Северо-Западе и в Сибири, золота, алмазов и других полезных ископаемых, в первую очередь новых промышленных типов, что содействовало созданию надежной минерально-сырьевой базы народного хозяйства страны.

Вызывает одобрение нацеленность журнала на решение важнейших научных проблем геологии, выработку технической политики, чему способствуют организуемые журналом дискуссии с привлечением видных ученых по важнейшим направлениям развития геологической науки и геологоразведочного производства.

В период так называемой перестройки и падения экономики страны возрастает организующая роль журнала, его нацеленность на объединение усилий ученых и практиков для сохранения научных замыслов и достижений советского периода развития страны, укрепления уверенности в том, что правительство осознает значение минерально-сырьевого потенциала для выхода России из кризиса и поймет огромную роль геологии в процессе прогноза развития нашего многострадального Отечества.

Успехов вам, вашим авторам и всем, кто использует журнал для пополнения своих знаний и активного участия в профессиональной жизни!

Вице-президент РАЕН,  
Министр геологии СССР (1975—1989 гг.),  
доктор технических наук, профессор

Е.А.Козловский

## Уважаемые коллеги!

Ректорат Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, деканат геологического факультета МГУ и кафедра геологии и геохимии полезных ископаемых сердечно поздравляют редакцию журнала «Отечественная геология» со славным 70-летним юбилеем. Журнал все эти годы был знаменем сначала советской, а затем российской геологии. На его страницах были опубликованы основополагающие теоретические и прикладные достижения отечественных ученых и практиков. Геологи Московского государственного университета в течение всего этого периода активно принимали участие в работе журнала (входили в состав редколлегии, были авторами многих статей). Мы твердо уверены, что стиль журнала — в высшей степени профессиональный и комплексный, охватывающий весь спектр наук о Земле, сохранится и в дальнейшем. Наш журнал крайне необходим стране. Только такого типа периодические издания, объединяющие ученых и практиков, способны помочь российской геологии преодолеть кризис и обеспечить нашу страну необходимыми минерально-сырьевыми ресурсами, инженерно-геологическими, эколого-геологическими и другими научно-техническими разработками.

Еще раз, дорогие коллеги, поздравляем вас с юбилеем!

Проректор МГУ  
имени М.В.Ломоносова  
профессор

В.Т.Трофимов

Декан геологического факультета  
профессор, член-корреспондент РАН

Д.Ю.Пушаровский

Заведующий кафедрой геологии и геохимии  
полезных ископаемых профессор

В.И.Старостин

## Уважаемые коллеги!

Профессора, сотрудники, аспиранты и студенты МГГРУ сердечно поздравляют редакционную коллегию (где собран цвет отрасли) с замечательным юбилеем — 70-летием со дня рождения журнала!

Журнала, который за все время своего существования постоянно чувствовал ответственность за отрасль, держал своих читателей от Москвы до самых до окраин в курсе последних достижений в науках о Земле, был и остается объединяющим звеном самых разных направлений геологических исследований и постоянно уделяет внимание геологическому образованию

Дорогие друзья, со славным юбилеем вас и «так держать»!

От коллектива

Л.Г.Грабчак

А.К.Соколовский

В.П.Дробаденко



## Уважаемые коллеги!

Геологи Республики Беларусь от всей души поздравляют редколлегию и сотрудников журнала «Отечественная геология» с 70-летием со дня основания.

С момента выхода первого номера в свет и до настоящего времени журнал поднимал и поднимает самые насущные вопросы, посвященные исследованию богатств недр нашего Отечества.

Современное название журнала «Отечественная геология» как нельзя лучше отражает нашу бывшую общность, символизирует единство методологических подходов в исследованиях закономерностей формирования месторождений, прогноза, поисков и разведки полезных ископаемых.

На материалах журнала воспитывались многие поколения геологов нашего Отечества, сверяли свои подходы, ориентировались на новые научно-технические достижения и передовые разработки в сфере наук о Земле.

Желаем дальнейшего процветания, сохранения стиля журнала и его традиций. Надеемся на дальнейшее плодотворное творческое сотрудничество.

Генеральный директор  
Геологоразведочного республиканского  
унитарного предприятия  
(РУП «Белгеология»)

В.В.Карпук

Зам. генерального директора  
РУП «Белгеология»  
по твердым полезным ископаемым

П.З.Хомич

Директор  
Белорусского научно-исследовательского  
геологоразведочного института  
(БелНИГРИ)

С.П.Гудак

Зам.генерального директора  
РУП «Белгеология» по нефти и газу

Я.Г.Грибик

## Уважаемые коллеги!

Сердечно поздравляем редколлегию и многочисленных читателей журнала «Отечественная геология» с юбилеем — 70-летием со времени основания его выдающимся советским геологом И.М.Губкиным. По геологическим понятиям, это — еще очень небольшой возраст, однако масштабы проделанной работы впечатляют.

За прошедший период журнал превратился в наиболее авторитетный печатный орган геологической отрасли Советского Союза. В сложных условиях последнего времени журнал сумел не только сохраниться, но и укрепить свой авторитет, став одним из главных источников информации для геологии и геологов всего постсоветского пространства.

В журнале систематически публиковались статьи выдающихся отечественных и зарубежных геологов, на чьих работах выросло не одно поколение специалистов и ученых отрасли. Среди авторов «Советской геологии» был глава казахстанских геологов Каныш Имантаевич Сатпаев, первые публикации которого в журнале относятся к 30-м годам прошлого столетия.

Важное место на страницах журнала всегда уделялось Казахстану, что способствовало раскрытию и развитию уникальной минерально-сырьевой базы республики. Казахские геологи и сегодня рассматривают журнал как свой печатный орган и относятся к нему с большим вниманием. Ведущие геологи Казахстана активно сотрудничали с журналом, некоторые из них в течение длительного времени были в составе редколлегии, успешно представляя в ней Центрально-Азиатский регион.

Поздравляя с юбилеем журнал «Отечественная геология», мы желаем всем российским геологам новых достижений в изучении геологии и укреплении минерально-сырьевого потенциала России на основе использования самых передовых разработок в сфере наук о Земле.

Председатель  
Комитета геологии и охраны недр  
МЭ и МР Республики Казахстан

Б.С.Ужкенов

## Уважаемые коллеги!

Государственная геологическая служба Украины сердечно поздравляет вас и сотрудников вашего журнала со славным юбилеем! На протяжении 70 лет журнал пропагандировал передовые научно-технические достижения отечественной геологии, разработки в сфере наук о Земле, имеющие, как правило, прикладное значение. Не смотря на то, что теперь мы находимся в разных странах, ваш журнал пользуется довольно большой популярностью в Украине. Опубликоваться в «Отечественной геологии» — большая честь для украинских геологов (ученых и производственников). Достижения геологов СНГ широко известны во всем мире. В немалой степени этому способствовал и ваш журнал. Обмен мнениями, в том числе между российскими и украинскими геологами — необходимая составляющая развития научной мысли в познании недр. Для нас, сотрудников Государственной геологической службы Украины — от чиновников до начальников геологических партий, от рядовых геологов до руководителей предприятий и институтов — это крайне необходимо. На наиболее значимые форумы — совещания, семинары, часто сопровождающиеся геологическими экскурсиями, — мы приглашаем российских коллег и рассчитываем на взаимность.

Будем рады увидеть свои публикации в вашем журнале и в этом юбилейном году, и в последующем.

С глубоким уважением, от имени Государственной геологической службы Украины,

Председатель  
Геологической службы Украины

Д.С. Гурский



# Проект «Классификации запасов, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов» (разослан МПР России 06.02.2003 г.)

## I. Общие положения.

1. «Классификация запасов, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов» (далее Классификация) устанавливает единые для Российской Федерации принципы подсчета и государственного учета запасов месторождений, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов (свободного газа, газа газовых шапок и газа, растворенного в нефти)\* в недрах по степени их геологической изученности, промышленного освоения и экономической эффективности.

2. Выполнение требований настоящей Классификации обязательно для всех недропользователей, проводящих подсчет запасов и оценку ресурсов нефти и газа и представляющих их в органы государственной экспертизы для апробации и постановки на государственный баланс, независимо от формы собственности.

3. Классификация составлена с учетом положений законодательства Российской Федерации о недрах и других нормативных и методических документов, регламентирующих проведение подсчета запасов и оценки ресурсов нефти и газа.

4. Запасы месторождений подсчитываются и учитываются в государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации по результатам геологоразведочных работ и разработки месторождений отдельно по нефти, газу и конденсату. Данные о запасах месторождений нефти и газа используются при выделении инвестиций, проектировании добычи, транспортировки и комплексной переработки нефти и газа, а также при разработке концепций экономического и социального развития субъектов Российской Федерации и Российской Федерации в целом.

5. Перспективные и прогнозные ресурсы нефти и газа, наличие которых предполагается на основе общих геологических представлений, теоретических предпосылок, результатов геологических, геофизических и геохимических исследований, оцениваются отдельно по нефти, газу и конденсату в пределах нефтегазоносных провинций, областей, районов, зон, локальных ловушек и площадей. Данные о перспективных и прогнозных ресурсах нефти и газа используются при планировании поисковых и разведочных работ.

6. При определении запасов месторождений подлежат обязательному отдельному подсчету и учету запасы нефти, газа, конденсата и содержащихся в них попутных полезных компонентов (этана, пропана, бутана, серы, гелия, аргона, редких металлов), целесообразность извлечения которых обоснована технологическими и технико-экономическими расчетами. Подсчет и учет запасов нефти, газа, конденсата и содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение, производятся по каждой залежи отдельно и месторождению в целом по наличию их в недрах без учета потерь при разработке месторождений.

7. При получении из скважин на месторождениях нефти и газа притоков подземных вод должны быть определены химический состав подземных вод, содержание в них йода, брома, бора и другие показатели для обоснования целесообразности проведения специальных геологоразведочных работ с целью оценки запасов подземных вод и определения возможности использования их для извлечения полезных компонентов или для теплоэнергетических, бальнеологических и иных нужд.

8. Запасы нефти и конденсата, а также этана, пропана, бутанов, серы и редких металлов подсчитываются и учитываются, а перспективные и прогнозные ресурсы нефти и конденсата оцениваются и учитываются в единицах массы; запасы газа подсчитываются и учитываются, а перспективные и прогнозные ресурсы газа оцениваются и учитываются в единицах объема. Подсчет, учет и оценка производятся при условиях, приведенных к стандартным (0,1 МПа при 20°C).

9. Учет качества нефти, газа и конденсата производится в соответствии с требованиями государственных, отраслевых стандартов и технических условий с учетом технологии добычи и переработки, обеспечивающей их комплексное использование.

10. Согласно законодательству Российской Федерации о недрах, с целью учета состояния минерально-сырьевой базы на основе Классификации ведется государственный баланс запасов полезных ископаемых. Баланс содержит сведения о количестве, качестве и степени изученности запасов каждого вида полезных ископаемых по месторождениям, об их размещении, о степени промышленного освоения, экономической эффективности, добыче и потерях полезных ископаемых.

## II. Принципы построения классификации запасов и ресурсов.

1. Объектом подсчета запасов является *залежь нефти и газа* — локальное скопление углеводородов в проницаемых коллекторах ловушек различного типа.

2. Запасы и ресурсы нефти, газа, конденсата и попутных компонентов классифицируются по:

степени геологической изученности и обоснованности; степени промышленного освоения; экономической эффективности.

3. Главными критериями выделения категорий запасов и ресурсов по степени геологической изученности являются освещенность разреза бурением, детальность построения геологической и фильтрационной моделей залежи и достоверность подсчета запасов и определения параметров для проектирования разработки.

4. При выделении категорий запасов и ресурсов по степени геологической изученности сохранена преемственность с действующей Классификацией. Количество углеводородов, находящихся в недрах, вместе с содержащимися в них попутными компонентами, как и в ранее принятой классификации, подразделяется на *геологические запасы* и *геологические ресурсы*.

**Геологические запасы** — количество нефти, газа, конденсата и содержащихся в них попутных компонентов, находящихся в недрах во вскрытых бурением залежах и подсчитанных по результатам геологоразведочных работ и разработки.

**Геологические ресурсы** — количество нефти, газа, конденсата и попутных компонентов в невоскрытых бурением залежах, наличие которых в недрах предполагается на основе результатов геологических, геофизических и геохимических исследований.

5. В геологических запасах и геологических ресурсах нефти, газа, конденсата и содержащихся в них компонентов, как было принято и в ранее действовавшей классификации, выделяются *извлекаемые запасы* и *извлекаемые ресурсы*.

**Извлекаемые запасы** — количество нефти, газа, конденсата и попутных компонентов, извлечение которых из открытых залежей на дату подсчета запасов экономически эффективно в условиях конкурентного рынка при рациональном использовании современных технических средств и технологии добычи с учетом соблюдения требований по охране недр и окружающей среды.

\*В дальнейшем именуется «газ».



**Извлекаемые ресурсы** — количество нефти, газа, конденсата и попутных компонентов, которое экономически rentабельно предполагается извлечь из неоткрытых залежей.

6. Критерием выделения категорий запасов по степени промышленного освоения является степень вовлечения оцениваемой залежи в разработку.

7. По экономической эффективности извлекаемые запасы и извлекаемые ресурсы дифференцируются на основании их стоимостной оценки, проводимой в постоянных ценах при цене нефти, заложенной в бюджет страны на год, в котором проводится оценка. Критерием отнесения запасов (ресурсов) к различным категориям являются прогнозируемые значения показателя чистого дисконтированного дохода, определяемые при фиксированных нормах дисконта.

8. Для ведения статистического учета запасов нефти и газа и планирования геологоразведочных работ и работ по освоению месторождений выделяются *группы категорий запасов по достоверности*, критериями выделения которых являются *геологическая изученность, степень промышленного освоения и экономическая эффективность*.

### **III. Категории запасов, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и газа по степени геологической изученности и обоснованности.**

1. Запасы нефти и газа (геологические и извлекаемые) по степени геологической изученности и обоснованности подразделяются на категории А (изученные), В (разведанные), С<sub>1</sub> (оцененные) и С<sub>3</sub> (предварительно оцененные).

По степени геологической изученности и обоснованности ресурсы нефти и газа (геологические и извлекаемые) подразделяются на категории D<sub>1</sub> (перспективные), D<sub>2</sub> (потенциальные) и D<sub>3</sub> (прогнозные).

2. **Категория А** (изученные) — запасы разрабатываемой залежи (ее части), *разбуренной эксплуатационной сеткой скважин* в соответствии с проектным документом на разработку. Геологическое строение залежи (условия залегания флюидов в ловушке, литологический состав, тип коллекторов, эффективные и нефте- и газонасыщенные толщины, фильтрационно-емкостные свойства и нефте- и газонасыщенность, состав и свойства углеводородов в пластовых и стандартных условиях) и технологические характеристики залежи (режим работы, дебиты нефти, газа, конденсата, продуктивность скважин, гидропроводность и пьезопроводность пласта, пластовое давление, температуры, коэффициенты вытеснения) изучены с детальностью, достаточной для построения многомерных геологической и фильтрационной моделей залежи, подсчета запасов и уточнения проектных документов на разработку.

3. **Категория В** (разведанные) — запасы нефти и газа залежи (ее части), *разбуренной поисковыми, оценочными, разведочными и опережающими эксплуатационными скважинами* и изученной сейсморазведкой или иными высокоточными геофизическими методами. *Промышленная продуктивность доказана опробованием (эксплуатацией) ряда скважин*. Литологический состав пород, тип коллектора, эффективная и нефте- и газонасыщенная толщина, фильтрационно-емкостные свойства и нефте- и газонасыщенность коллекторов нефти изучены по керну и материалам геофизических исследований скважин. Состав и свойства нефти, газа и конденсата в пластовых и стандартных условиях изучены по глубинным и поверхностным пробам. Технологические характеристики залежи (режим работы, дебиты нефти, газа, конденсата, продуктивность скважин, гидропроводность и пьезопроводность пласта, пластовое давление, температура, коэффициенты вытеснения) изучены по результатам пробной эксплуатации, испытания и исследования отдельных скважин. Степень изученности параметров залежи достаточна для построения геологической и фильтрационной моделей залежи, подсчета запасов и составления проектного документа на разработку.

4. **Категория С<sub>1</sub>** (оцененные) — запасы нефти и газа залежи (ее части), *изученной сейсморазведкой или иными высокоточными геофизическими методами и вскрытой поисковыми, оценочными, разведочными или транзитными эксплуатационными скважинами*. Геологические параметры установлены по данным площадных геофизических исследований и бурения отдельных скважин, *характер насыщенности продуктивных пластов определен по данным изучения керна и ГИС, промышленная продуктивность опробованием не доказана*. Технологические параметры залежи (участка) оценены с использованием аналогий по разрабатываемым месторождениям. Имеющаяся информация достаточна для построения предварительной геологической модели и подсчета запасов. При составлении проектного документа на разработку запасы категории С<sub>1</sub> принимаются для расчетов прогнозных уровней добычи на полное развитие месторождения.

5. **Категория С<sub>2</sub>** (предварительно оцененные) — запасы, наличие которых предполагается в неразведанных бурением частях залежи, изученных сейсморазведкой или иными высокоточными геофизическими методами и примыкающих к участкам с запасами более высоких категорий. Геологические и технологические характеристики оценены по аналогии с разбуренными частями залежи с детальностью, достаточной для построения предварительной геологической модели и подсчета запасов. При составлении проектного документа на разработку запасы категории С<sub>2</sub> принимаются для расчетов прогнозных уровней добычи на полное развитие месторождения.

6. **Категория D<sub>1</sub>** (перспективные) — ресурсы нефти и газа предполагаемых залежей в регионально продуктивном пласте *в ловушках, подготовленных к поисковому бурению* детальными геолого-геофизическими исследованиями. Форма, размеры и условия залегания предполагаемых залежей определены по результатам геолого-геофизических исследований, толщина и коллекторские свойства пластов, состав и свойства нефти и газа принимаются по аналогии с разведанными залежами.

7. **Категория D<sub>2</sub>** (потенциальные) ресурсы нефти и газа предполагаемой залежи в регионально продуктивном пласте *в ловушках, выявленных геолого-геофизическими исследованиями*. Форма, размер и условия залегания предполагаемых залежей определены по результатам геолого-геофизических исследований, толщина и коллекторские свойства пластов, состав и свойства нефти и газа принимаются по аналогии с разведанными залежами в том же пласте.

8. **Категория D<sub>3</sub>** (прогнозные) ресурсы нефти и газа *литолого-стратиграфических комплексов и горизонтов в пределах крупных региональных структур* с доказанной промышленной нефтегазоносностью. Количественная оценка прогнозных ресурсов проводится по результатам региональных геологических, геофизических, геохимических исследований и по аналогии с открытыми месторождениями в пределах оцениваемого региона.

9. **Начальные суммарные запасы и ресурсы (НСЗР)** нефтегазоносной провинции или ее участков и комплексов — сумма накопленной добычи, текущих извлекаемых запасов месторождений и извлекаемых перспективных, потенциальных и прогнозных ресурсов.

**Текущие суммарные запасы и ресурсы (ТСЗР)** нефтегазоносной провинции или ее участков включают текущие извлекаемые запасы месторождений категорий А, В, С<sub>1</sub> и С<sub>3</sub>, перспективные извлекаемые ресурсы D<sub>1</sub> и прогнозные извлекаемые ресурсы D<sub>2</sub> и D<sub>3</sub>.

### **IV. Категории извлекаемых запасов и ресурсов нефти и газа по степени промышленного освоения.**

1. Извлекаемые запасы и извлекаемые ресурсы нефти, газа и конденсата по степени промышленного освоения подразделяются на: *извлеченные, освоенные и неосвоенные*. А в ресурсах выделяется извлекаемая часть.



# 1. Характеристика категорий запасов и ресурсов нефти и газа по геологической изученности

| Категории запасов и ресурсов |                          | Индекс         | Характеристика запасов и ресурсов по геологической изученности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------|--------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Запасы                       | Изученные                | A              | Запасы разрабатываемой залежи (ее части), разбуренной эксплуатационной сеткой скважин в соответствии с проектным документом на разработку. Геологическое строение и технологические характеристики залежи изучены с детальностью, достаточной для построения многомерных геологической и фильтрационной моделей залежи, пересчета запасов и уточнения проектных документов на разработку                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                              | Разведанные              | B              | Запасы нефти и газа залежи (ее части), <i>разбуренной поисковыми, оценочными, разведочными и опережающими эксплуатационными скважинами</i> и изученной сейсморазведкой или иными высокоточными геологическими методами. <i>Промышленная продуктивность доказана отработанием (эксплуатацией) ряда скважин</i> . Геологическое строение залежи и технологические характеристики залежи изучены с детальностью, достаточной для построения геологической и фильтрационной моделей залежи, подсчета запасов и составления проектного документа на разработку                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                              | Оцененные                | C <sub>1</sub> | Запасы нефти и газа залежи (ее части), <i>изученной сейсморазведкой или иными высокоточными геологическими методами и вскрытой поисковыми, оценочными, разведочными или транзитными эксплуатационными скважинами</i> . Геологические параметры установлены по данным площадных геологических исследований и бурения отдельных скважин, <i>характер насыщенности продуктивных участков определен по данным изучения керна и ГИС, промышленная продуктивность не доказана</i> . Технологические параметры залежи (участка) оценены с использованием аналогии по разрабатываемым месторождениям. Имеющаяся информация достаточна для построения предварительной геологической модели и подсчета запасов. При составлении проектного документа на разработку запасы категории C <sub>1</sub> принимаются для расчетов прогнозных уровней добычи на полное развитие месторождения |
|                              | Предварительно оцененные | C <sub>2</sub> | Запасы, наличие которых предполагается в неразведанных бурением частях залежи, изученных сейсморазведкой или иными высокоточными геологическими методами и примыкающих к участкам с запасами более высоких категорий. Геологические и технологические характеристики оценены по аналогии с разбуренными частями залежи с детальностью, достаточной для построения предварительной геологической модели и подсчета запасов. При составлении проектного документа на разработку запасы категории C <sub>2</sub> принимаются для расчетов прогнозных уровней добычи на полное развитие месторождения                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ресурсы                      | Перспективные            | D <sub>1</sub> | Ресурсы нефти и газа предполагаемой залежи в регионально продуктивном пласте <i>в ловушках, подготовленных к поисковому бурению</i> детальными геолого-геофизическими исследованиями. Форма, размер и условия залегания предполагаемой залежи определены по результатам геолого-геофизических исследований, толщина и коллекторские свойства пластов, состав и свойства нефти и газа принимаются по аналогии с разведанными залежами                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                              | Потенциальные            | D <sub>2</sub> | Ресурсы нефти и газа предполагаемой залежи в регионально продуктивном пласте <i>в ловушке, выявленной геолого-геофизическими исследованиями</i> . Форма, размер и условия залегания предполагаемой залежи определены по результатам геолого-геофизических исследований, толщина и коллекторские свойства пластов, состав и свойства нефти и газа принимаются по аналогии с разведанными залежами в том же пласте                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                              | Прогнозные               | D <sub>3</sub> | Ресурсы нефти и газа <i>литолого-стратиграфических комплексов в пределах крупных региональных структур</i> с доказанной промышленной нефтегазоносностью. Количественная оценка прогнозных ресурсов проводится по результатам региональных геологических, геофизических, геохимических исследований и по аналогии с открытыми месторождениями в пределах оцениваемого региона                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

## 2. Характеристика запасов и ресурсов нефти и газа по степени промышленного освоения

| Запасы и ресурсы по стадиям освоения |                                                       | Индекс | Характеристика запасов (ресурсов) и технологий разработки                                                                                                             |                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Запасы                               | Освоенные                                             |        | Накопленная добыча нефти и газа на дату подсчета                                                                                                                      |                                                                                                                                    |
|                                      | Извлеченные                                           | $F_0$  | Извлекаемые запасы нефти и газа на дату подсчета                                                                                                                      |                                                                                                                                    |
|                                      | Разрабатываемые                                       | $F_1$  | Извлекаемые запасы нефти и газа, дренлируемые скважинами при реализованных технологиях разработки                                                                     |                                                                                                                                    |
|                                      | Разбуренные, не разрабатываемые                       | $F_2$  | Извлекаемые запасы нефти и газа на месторождениях, по разным причинам не дренлируемые на дату подсчета                                                                | Ожидается извлечь из вскрытых, но не работающих на дату подсчета интервалов, при естественных режимах и методах ДЕПЭ (без МУН)     |
|                                      |                                                       |        | За счет ремонтов скважин* $F_2^2$                                                                                                                                     | Ожидается извлечь из перфорированных интервалов пластов за счет ГРП, ОПЗ, ремонтов скважин при естественных режимах и методах ДЕПЭ |
|                                      |                                                       |        | В затрубном пространстве* $F_2^3$                                                                                                                                     | Ожидается извлечь из зон за обсадной колонной в существующих скважинах при естественных режимах и методах ДЕПЭ                     |
|                                      |                                                       |        | За счет МУН* $F_2^4$                                                                                                                                                  | Ожидается добыть за счет подтвержденных МУН                                                                                        |
| Неосвоенные                          | Подготовленные                                        | $F_3$  | За счет бурения по проектной сетке скважин* $F_3^1$                                                                                                                   | Ожидается добыть из проектных сеток скважин при естественных режимах и методах ДЕПЭ                                                |
|                                      |                                                       |        | За счет уплотнения сетки скважин* $F_3^2$                                                                                                                             | Ожидается добыть за счет уплотнения сетки скважин при естественных режимах и методах ДЕПЭ                                          |
|                                      |                                                       |        | За счет МУН* $F_3^3$                                                                                                                                                  | Ожидается добыть за счет МУН                                                                                                       |
|                                      | Неподготовленные                                      | $F_4$  | Запасы открытой или разведываемой залежи, <i>проектный документ на разработку которой не составлялся</i>                                                              | Коэффициент извлечения принят по геологическим и инженерным данным на основании геологических аналогий                             |
| Ресурсы                              | Извлекаемая часть перспективных и прогнозных ресурсов | $F_5$  | Извлекаемая часть ресурсов нефти и газа, которая, вероятно, может быть добыта при их освоении эффективными для прогнозируемых геолого-физических условий технологиями |                                                                                                                                    |

\*Данное подразделение категории не является обязательным при государственном учете запасов и может использоваться недропользователем для решения внутренних задач планирования и управления фондом недр.



2. **Извлеченные запасы** (накопленная добыча — категория  $F_0$ ) — количество нефти, газа и конденсата, добытое из залежи в процессе разработки.

3. **Освоенные запасы** — запасы нефти, газа и конденсата залежи (ее части), разбуренной сеткой эксплуатационных скважин в соответствии с проектным технологическим документом на разработку. Освоенные запасы подразделяются на категории  $F_1$  (разрабатываемые) и  $F_2$  (неразрабатываемые).

4. **Неосвоенные запасы** — извлекаемые запасы нефти, газа и конденсата залежи (ее части), неразбуренной сеткой скважин. Неосвоенные запасы подразделяются на категории  $F_3$  (подготовленные) и  $F_4$  (неподготовленные).

5. **Категория  $F_1$**  (разрабатываемые запасы) — извлекаемые запасы нефти, газа и конденсата залежи (ее части), разрабатываемые в соответствии с проектным технологическим документом на разработку.

6. **Категория  $F_2$**  (неразрабатываемые запасы) — извлекаемые запасы нефти, газа и конденсата залежи, разбуренной эксплуатационными скважинами, которые на дату подсчета не эксплуатируются или эксплуатация которых по технологическим и экономическим причинам временно прекращена, но которые будут извлечены при реализации проектного технологического документа на разработку, в том числе с применением технологий и методов увеличения нефтеотдачи.

7. **Категория  $F_3$**  (подготовленные запасы) — извлекаемые запасы разведанной залежи, которые ожидается извлечь при реализации утвержденного проектного технологи-

ческого документа на разработку, в том числе с применением технологий и методов увеличения нефтеотдачи.

8. **Категория  $F_4$**  (неподготовленные запасы) — извлекаемые запасы открытой или разведываемой залежи, проектный документ на разработку которой не составлялся, а коэффициент извлечения принят по геологическим и инженерным данным на основании геологических аналогий

9. **Категория  $F_5$**  — извлекаемые ресурсы нефти и газа неоткрытых залежей, коэффициент извлечения по которым принят по аналогии с изученными залежами.

**V. Категории извлекаемых запасов, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и газа по экономической эффективности.**

1. Извлекаемые запасы по эффективности на основе расчета значения показателя чистого дисконтированного дохода, определяемые при фиксированных нормах дисконта подразделяются на рентабельные ( $E_1$ ), гранично-рентабельные ( $E_2$ ) и нерентабельные ( $E_3$ ).

Извлекаемые ресурсы нефти и газа подразделяются на возможно рентабельные ( $E_4$ ), неопределенно рентабельные ( $E_5$ ).

2. **Категория  $E_1$**  (рентабельные запасы) — запасы, извлечение которых рентабельно в действующих экономических условиях. По величине показателя чистого дисконтированного дохода при фиксированной величине показателя дисконтирования запасы делятся на высокорентабельные и нормально рентабельные.

3. **Категория  $E_2$**  (гранично-рентабельные запасы) — запасы, извлечение которых рентабельно только при определенных экономических условиях.

### 3. Характеристика категории запасов по экономической эффективности

| Категория экономической эффективности | Индекс | Определение                                                                                                                            | Подкатегория экономической эффективности* | Индекс  | Количественные критерии отнесения к категории (подкатегории) экономической эффективности** |
|---------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рентабельные***                       | $E_1$  | Запасы, разработка которых рентабельна при существующих технологических, экономических и других существующих на момент оценки условиях | Высокорентабельные                        | $E_1^1$ | $NPV > 0$ при $r=20\%$ годовых                                                             |
|                                       |        |                                                                                                                                        | Нормально рентабельные                    | $E_1^2$ | $NPV > 0$ при $r=10\%$ годовых, но $NPV \leq 0$ при $r=20\%$ годовых                       |
| Гранично-рентабельные                 | $E_2$  | Запасы, разработка которых имеет граничную рентабельность при существующих на момент оценки условиях                                   |                                           |         | $NPV \geq 0$ при $r=10\%$ годовых, но $NPV \leq 0$ при $r=20\%$ годовых                    |
| Нерентабельные                        | $E_3$  | Запасы, разработка которых при существующих условиях не рентабельна                                                                    |                                           |         | $NPV < 0$ при $r=10\%$ годовых                                                             |

### Характеристика категорий ресурсов по экономической эффективности

|                            |       |                                                                                        |                |
|----------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Возможно рентабельные      | $E_4$ | Ресурсы, имеющие положительную предварительно (или экспертно) оцененную рентабельность | $EMV > 0$ **** |
| Неопределенно рентабельные | $E_5$ | Ресурсы, имеющие неопределенную рентабельность                                         | $EMV < 0$ **** |

\*Подразделение на подкатегории не является обязательным при государственном учете запасов и может использоваться недропользователем для решения внутренних задач планирования и управления фондом недр.

\*\*Все расчеты проводятся в постоянных ценах в долларах США при цене нефти, заложенной в бюджет страны на текущий год, процентные ставки указаны для расчетов в долларах США.

\*\*\*Объекты, для которых  $NPV > 0$  (или  $NPV < 0$ ) при любой ставке дисконтирования (например, не требующие инвестиций изученные освоенные запасы), могут относиться только к категориям рентабельных ( $E_1$ ) либо нерентабельных ( $E_3$ ) без подразделения на подкатегории.

\*\*\*\*Ожидаемая стоимость запасов  $EMVN = PVP_{успеха} - Z_{гпр}(1 - P_{успеха})$ , где  $Z_{гпр}$  — затраты на геологоразведочные работы,  $P_{успеха}$  — вероятность успешного открытия залежи (достоверность оценки ресурсов может быть принята по данным оси геологической изученности).



4. **Категория  $E_3$**  (нерентабельные запасы) — запасы, добыча которых в действующих экономических условиях нерентабельна.

5. **Категория  $E_4$**  (возможно рентабельные ресурсы) — извлекаемые ресурсы, имеющие положительную предварительно оцененную рентабельность.

6. **Категория  $E_5$**  (неопределенно рентабельные ресурсы) — извлекаемые ресурсы, предварительно оцененная рентабельность которых отрицательна.

#### **VI. Выделение групп категорий запасов по достоверности.**

1. Для ведения статистического учета запасов нефти и газа и планирования геологоразведочных работ и работ по освоению месторождений выделяются *группы категорий запасов по достоверности*. Критериями выделения групп запасов являются *геологическая изученность, степень промышленного освоения и экономическая эффективность*.

2. Запасы нефти, газа и конденсата по достоверности подразделяются на группы:

*достоверные, установленные и предполагаемые.*

3. **Достоверные запасы** включают:

а) **запасы категории А** — запасы залежи, геологическое строение (условия залегания флюидов в ловушке, литологический состав, тип коллекторов, эффективные нефте- и газонасыщенные толщины, фильтрационно-емкостные свойства, нефте- и газонасыщенность, состав и свойства углеводородов в пластовых и стандартных условиях) и технологические характеристики залежи (пластовое давление и температура, продуктивность скважин, дебиты, гидропроводность, преемственность и др.) изучены с детальностью, достаточной для построения многомерной геологической и фильтрационной моделей залежи;

б) **запасы категории В** — запасы участков залежи, непосредственно прилегающих к *поисковым, оценочным, разведочным и опережающим эксплуатационным скважинам, промышленная продуктивность которых доказана опробованием (эксплуатацией)*. Литологический состав пород, тип коллектора, эффективная и нефте- и газонасыщенная толшина, фильтрационно-емкостные свойства и нефте- и газонасыщенность коллекторов, коэффициенты вытеснения нефти изучены по керну и материалам геофизических исследований скважин. Состав и свойства нефти, газа и конденсата в пластовых и стандартных условиях изучены по глубинным и поверхностным пробам. Технологические характеристики залежи (режим работы, дебиты нефти, газа, конденсата, продуктивность скважин, гидропроводность и преемственность пласта, пластовое давление, температура) изучены по результатам пробной эксплуатации, испытания и исследования скважин.

По степени промышленного освоения к этой группе относятся запасы освоенных залежей (участков), разбуренных сеткой эксплуатационных скважин в соответствии с проектным технологическим документом на разработку (*освоенные запасы категорий  $F_1$  и  $F_2$* ) и запасы участков неосвоенных залежей, коэффициент извлечения для которых принят либо в соответствии с утвержденным проектным технологическим документом на разработку (*подготовленные запасы  $F_3$* ), либо по геологическим и инженерным данным на основании геологических аналогий (*неподготовленные запасы  $F_4$* ).

По экономической эффективности достоверные запасы относятся к рентабельным ( $E_1$ ).

Группа **достоверных запасов** включает запасы следующих категорий:  $AF_1E_1$ ;  $AF_2E_1$ ;  $BF_1E_1$ ;  $BF_2E_1$ ;  $BF_4E_1$ . Достоверность оценки запасов, входящих в данную группу, 90%.

4. **Установленные запасы** включают запасы *категории  $C_1$* . Это запасы залежи (части залежи), изученной сей-

сморазведкой или иными высокоточными геофизическими методами и вскрытой поисковыми, оценочными, разведочными или транзитными эксплуатационными скважинами. Геологические параметры установлены по данным площадных геофизических исследований и бурения отдельных скважин, характер насыщенности продуктивных пластов определен по данным ГИС, промышленная продуктивность не доказана. Технологические параметры залежи (участка) оценены с использованием аналогий по разрабатываемым месторождениям. Имеющаяся информация достаточна для построения предварительной геологической модели и подсчета запасов.

По степени промышленного освоения к этой группе категорий относятся запасы неосвоенных участков залежи (*неосвоенные запасы категории  $F_3$  и  $F_4$* ), которые экономически эффективно можно извлечь (*категория  $E_1$* ).

Группа **установленных запасов** включает запасы следующих категорий:  $C_1F_2E_1$ ;  $C_1F_3E_1$ ;  $C_1F_4E_1$ . Достоверность оценки запасов, входящих в данную группу, 70%.

5. **Предполагаемые запасы** включают запасы *категории  $C_2$* . Это запасы залежи (участка залежи), изученной сейсморазведкой или иными высокоточными геофизическими методами и примыкающие к участкам с запасами более высоких категорий. Геологические и технологические характеристики оценены по аналогии с разбуренными частями залежи с детальностью, достаточной для построения предварительной геологической модели и подсчета запасов.

По степени промышленного освоения к этой группе категорий относятся запасы неосвоенных участков залежи (*неосвоенные запасы категорий  $F_3$  и  $F_4$* ), которые экономически эффективно можно извлечь (*категория  $E_1$* ).

Кроме того, к предполагаемым запасам относят количество нефти, газа, конденсата, добыча которых рентабельна только при определенных экономических условиях (*категория  $E_2$* ) из освоенных (*категория  $F_2$* ) и неосвоенных участков залежи (*категории  $F_3$  и  $F_4$* ), по степени геологической изученности относящиеся к категориям А, В,  $C_1$  и  $C_2$ .

Группа **предполагаемых запасов** включает запасы следующих категорий:  $C_2F_3E_1$ ;  $C_2F_4E_1$ ;  $AF_2E_2$ ;  $BF_3E_2$ ;  $C_1F_3E_2$ ;  $C_2F_4E_2$ . Достоверность оценки запасов, входящих в данную группу, 50%.

#### **VII. Государственный баланс запасов нефти и газа.**

1. С целью учета состояния минерально-сырьевой базы углеводородного сырья ведется государственный баланс запасов нефти, газа, конденсата и содержащихся в них сопутствующих компонентов. Он должен содержать сведения о величине геологических и извлекаемых запасов нефти и газа, их геологической изученности, степени промышленного освоения и экономической эффективности. Государственному учету подлежат рентабельные, гранично-рентабельные и нерентабельные запасы.

2. Государственный баланс составляется на основе представляемой недропользователями информации по форме статистической отчетности № 6тр. Форма статистической отчетности должна соответствовать действующей классификации запасов и содержать информацию об объекте оценки, качественной характеристике нефти и газа, степени освоения оцениваемых объектов, изменении запасов, произошедших за год, и состоянии запасов на 1 января текущего года (табл. 4).

3. Постановка на государственный баланс и списание с государственного баланса запасов нефти и газа осуществляются в порядке, установленном федеральным органом управления государственным фондом недр по согласованию с органами государственного горного надзора.



4. Сведения для ведения баланса запасов нефти

| Регион, субъект Федерации, распределенный — фонд, предприятие, месторождение, его тип, продуктивные отложения, коллектор, глубина залегания, номер и дата регистрации, лицензии | Параметры пласта:<br>а) площадь нефтеносности;<br>б) нефтенасыщенная толщина;<br>в) пористость;<br>г) нефтенасыщенность;<br>д) коэффициент извлечения;<br>е) пересчетный коэффициент | Качественная характеристика нефти:<br>а) плотность;<br>б) вязкость;<br>содержание в %:<br>в) серы,<br>г) парафина,<br>д) смол и асфальтенов;<br>е) пластовая температура;<br>ж) температура застывания нефти | Годы:<br>а) открытия, б) ввода в разработку, в) консервации; г) добыча с начала разработки;<br>д) добыча на дату утверждения; е) степень выработанности; ж) обводненность; з) темп отбора | Запасы на 01.01. предыдущего года |                |                 |                |                 |                |                 |                | Изменение запасов за текущий год |                |                 |                |                |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------------------|
|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           | А                                 | Индекс запасов | В               | Индекс запасов | С <sub>1</sub>  | Индекс запасов | С <sub>2</sub>  | Индекс запасов | Добычи                           | А              | В               | С <sub>1</sub> | С <sub>2</sub> | Передачи с баланса на баланс |
| 1                                                                                                                                                                               | 2                                                                                                                                                                                    | 3                                                                                                                                                                                                            | 4                                                                                                                                                                                         | 5                                 | 6              | 7               | 8              | 9               | 10             | 11              | 12             | 13                               | 14             | 15              | 16             | 17             | 18                           |
| Первомайское                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                   |                |                 |                |                 |                |                 |                |                                  |                |                 |                |                |                              |
| БП-10                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           | $\frac{100}{50}$                  | $E_1 F_1$      | $\frac{50}{20}$ | $E_1 F_1$      | $\frac{25}{10}$ | $E_1 F_1$      | $\frac{23}{12}$ | $E_1 F_3$      | 20                               | $\frac{20}{6}$ | $\frac{40}{15}$ | $\frac{15}{5}$ | $\frac{0}{0}$  | $\frac{0}{0}$                |
|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                   |                |                 |                |                 |                |                 |                |                                  |                |                 |                |                |                              |
|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                   |                |                 |                |                 |                |                 |                |                                  |                |                 |                |                |                              |
| Всего по залежи                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                   |                |                 |                |                 |                |                 |                |                                  |                |                 |                |                |                              |

| Запасы на 01.01. текущего года |                               |          |                               |                |                               |                |                               |     |                | Отношение текущих начальных запасов к утвержденным |  |  | Год утверждения |  | Орган, утвердивший запасы, номер протокола |  |
|--------------------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-----|----------------|----------------------------------------------------|--|--|-----------------|--|--------------------------------------------|--|
| А                              | Индекс запасов                | В        | Индекс запасов                | С <sub>1</sub> | Индекс запасов                | С <sub>2</sub> | Индекс запасов                | В   | Индекс запасов |                                                    |  |  |                 |  |                                            |  |
| 19                             | 20                            | 21       | 22                            | 23             | 24                            | 25             | 26                            | 27  | 28             | 29                                                 |  |  | 28              |  |                                            |  |
| 70<br>25                       | E <sub>1</sub> F <sub>1</sub> | 90<br>35 | E <sub>1</sub> F <sub>1</sub> | 40<br>15       | E <sub>1</sub> F <sub>1</sub> | 23<br>12       | E <sub>1</sub> F <sub>2</sub> | 0,9 | 2002           | ГКЗ РФ № 301                                       |  |  |                 |  |                                            |  |
|                                |                               |          |                               |                |                               |                |                               |     |                |                                                    |  |  |                 |  |                                            |  |
|                                |                               |          |                               |                |                               |                |                               |     |                |                                                    |  |  |                 |  |                                            |  |
|                                |                               |          |                               |                |                               |                |                               |     |                |                                                    |  |  |                 |  |                                            |  |

## Ресурсы, запасы и стадийность геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые

А.И.КРИВЦОВ, Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ (ЦНИГРИ), Б.К.МИХАЙЛОВ (МНР России)

Более 20 лет назад, в 1981 г., в нашей стране была введена в действие классификация прогнозных ресурсов и создана система их текущих оценок и периодических (раз в 5 лет) переоценок в масштабах всего государства. В 2003 г. завершается четвертый период таких переоценок. Введению этой системы предшествовала организованная журналом «Советская геология» под руководством Н.П.Лаверова широкая дискуссия по проблеме «Минерально-сырьевая база и фактор времени». Итоги данной дискуссии были подведены в статье Е.А.Козловского, опубликованной в нашем журнале в 1979 г. Базовые положения этой статьи испытали проверку временем и во многом подтвердились, в т.ч. и в негативных аспектах (к сожалению).

Следует напомнить, что Геологическая служба Советского Союза по темпам выявления новых месторождений и приросту запасов существенно опередила развитие отечественной горнодобывающей промышленности, вследствие чего новая Россия унаследовала весьма значительные запасы большинства полезных ископаемых, на добыче которых и базируется современная экономика страны. В то же время новые социальные экономические условия России привели к обесцениванию существенной части ранее выявленного богатства отечественных недр.

Наш журнал неоднократно обращался к геологическим, методологическим и организационно-технологическим основам геологоразведочного процесса применительно к главным типам месторождений ведущих металлических и неметаллических полезных ископаемых.

Принципиальное значение для повышения эффективности геологоразведочных работ имели создание и внедрение их прогрессивных технологий в форме прогнозно-поисковых комплексов (ППК), составляющих существо системы прогноз—поиски—оценка (СППО). Результаты этих разработок были опубликованы в «Советской геологии» в 1983—1985 гг. и получили развитие в форме отраслевого нормативно-методического обеспечения и сопровождения ГРР, включая создание предельных нормативов их стоимости по видам и стадиям работ.

В ППК и СППО были реализованы базовые принципы построения геологоразведочного процесса — последовательного приближения (от крупных рудоносных площадей к локальным перспективным участкам и рудным телам) и соответствия (между рангом площадей, детальностью работ и комплексами используемых методов). При этом оптимизация ГРР на каждой из стадий обеспечивалась за счет достижения эквивалентности между разрешающими возможностями тех или иных методов ГРР и объективно установленными признаками металлогенических таксонов разного ранга. Для научно-методического обеспечения и сопровождения ГРР принципиальное значение имели создание и внедрение в практику прогнозно-поисковых моделей упомянутых таксонов, описания которых вошли в «Методические руководства по оценке прогнозных ресурсов», изданные в 1987, 1989 и 2002 гг.

Исходя из этих положений, стадийность ГРР строилась в соответствии со следующим рядом пространственных таксонов: металлогеническая зона—потенциальный рудный район—потенциальное рудное поле—перспективный участок—потенциальное месторождение—промышленно значимая часть месторождения (или промышленные рудные тела). В согласии с этим рядом выстраивались и категории прогнозных ресурсов и запасов (по росту достоверности): металлогенический потенциал— $P_3$ — $P_2$ — $P_1$ — $C_2$ — $C_1$ — $B$  (или  $B_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  в различных пропорциях).

Для достижения необходимой минерально-сырьевой результативности ГРР принципиальное значение имели стадии общих специализированных поисков, детальных поисков и поисково-оценочных работ, которыми создавался наиболее надежный «поисковый задел», а также обеспечивалась последующая достаточно достоверная разбраковка объектов по перспективности и возможной экономической значимости.

В 1999 г. было проведено реформирование стадийности ГРР, в результате чего общие поиски масштаба 1:50 000 исчезли из поисково-оценочного этапа, а их место заняли собственно поисковые работы, требовавшие к результатам которых расширились по ожидаемым целям при общем снижении детальности и поисковой нагрузки. Стадия оценочных работ была значительно утяжелена за счет переноса на нее части задач ранее существовавшей стадии предварительной разведки. Реальная практика ГРР за 1990—2000 гг. показала, что за этот период была существенно облегчена и поисковая нагрузка на работы масштаба 1:200 000, которые постепенно перешли из категории опережающих (в части выявления прогнозных ресурсов и создания поискового задела) в одну из категорий работ по геологическому картированию.

В целом, как «Стадийность-99», так и реальная практика ГРР последних 10 лет привели к существенному снижению поисковых разрешающих возможностей ГРР, выполнявшихся для прогноза и поисков твердых полезных ископаемых в целях воспроизводства МСБ и фонда недропользования. В 2001 г. в оперативном порядке были введены стадии (подстадии?) прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ, которые фактически заняли «межстадийное» положение (табл. I, цветная вставка). Как видно, вновь введенные стадии избыточно широки по ожидаемым либо требуемым результатам ( $P_3$ ,  $P_2$ ,  $P_1$  в первом случае;  $P_1$ ,  $C_2$ ,  $C_1$  во втором). Опыт формирования проекта пообъектного плана ГРР на 2002 г. подтвердил негативный эффект «размытости» ожидаемых результатов и ограниченность возможностей выявления новых локальных объектов с прогнозными ресурсами категории  $P_1$  и (или) запасами  $C_2$ , которые представляют наибольший интерес для лицензионного недропользования.

В соответствии с изложенным, а также в связи с изменениями в сфере источников финансирования ГРР (при резком сокращении средств) Госгеолслужба России в 2002 г. поручила ЦНИГРИ совместно с ЦНИИГеолнеруд и ВИЭМС разработать концепции классификации ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых (ТПИ) и стадийности ГРР на ТПИ. Основные результаты исследований были доложены коллегии МНР РФ 22 января 2002 г. Существо выполненных работ рассматривается в последующем изложении.

**Прогнозные ресурсы и запасы.** С целью объективной оценки состояния системы ресурсов—запасы для ряда ведущих полезных ископаемых по пятилетним периодам 1983—1998 гг. была проанализирована динамика состояний прогнозных ресурсов и запасов в сопоставлении с их приростами и накопленной добычей (ND). Представленная табл. I отражает результаты проведенного анализа в качественной, а рис. 1 (цветная вставка) — в количественной формах.



1. Изменения состояний запасов ( $\Delta Z$ ) и прогнозных ресурсов (ПР —  $P_1, P_2, P_3$ ) за 1983—1998 гг. по периодам переоценок прогнозных ресурсов, по материалам ЦНИГРИ, ЦНИИгеолнеруд, ВИАМС

| Периоды оценок, годы            | Убыль (–) и рост (+) |                 |                 |                 | ΔZ/убыль ПР |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
|                                 | ΔZ                   | ΔP <sub>1</sub> | ΔP <sub>2</sub> | ΔP <sub>3</sub> |             |
| Золото, коренное                |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | –               | –               | +               | 0,93        |
| 1988—1993                       |                      | –               | –               | –               | 0,09        |
| 1993—1998                       |                      | +               | +               | +               | Рост ПР     |
| 1983—1998                       |                      | –               | –               | +               | 1,08        |
| Золото, россыпное               |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | –               | –               | +               | 0,17        |
| 1988—1993                       |                      | –               | –               | –               | 0,31        |
| 1993—1998                       |                      | +               | +               | +               | Убыль Z     |
| 1983—1998                       |                      | –               | +               | +               | 0,14        |
| Серебро (собственно серебряные) |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | +               | –               | –               | 0,06        |
| 1988—1993                       |                      | +               | –               | –               | Убыль Z     |
| 1993—1998                       |                      | +               | +               | +               | Рост ПР     |
| 1983—1998                       |                      | +               | –               | –               | 0,09        |
| Медь                            |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | +               | –               | –               | 0,15        |
| 1988—1993                       |                      | –               | –               | –               | 0,21        |
| 1993—1998                       |                      | –               | +               | –               | Убыль Z     |
| 1983—1998                       |                      | –               | –               | –               | 0,069       |
| Никель                          |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | –               | –               | –               | 0,14        |
| 1988—1993                       |                      | +               | +               | –               | 0,03        |
| 1993—1998                       |                      | –               | +               | –               | Убыль Z     |
| 1983—1998                       |                      | –               | +               | –               | Убыль Z     |
| Свинец                          |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | –               | +               | –               | 0,21        |
| 1988—1993                       |                      | +               | –               | –               | 0,12        |
| 1993—1998                       |                      | –               | –               | –               | 0,01        |
| 1983—1998                       |                      | –               | –               | –               | 0,13        |
| Цинк                            |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | +                    | +               | –               | –               | 0,56        |
| 1988—1993                       |                      | –               | –               | –               | 0,38        |
| 1993—1998                       |                      | –               | –               | +               | 0,02        |
| 1983—1998                       |                      | –               | –               | –               | 0,40        |
| Вольфрам                        |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988                       | –                    | –               | +               | +               | Убыль Z     |
| 1988—1993                       |                      | –               | –               | –               | 0,23        |
| 1993—1998                       |                      | –               | –               | –               | Убыль Z     |
| 1983—1998                       |                      | –               | +               | –               | 0           |

| Периоды оценок, годы | Убыль (-) и рост (+) |                 |                 |                 | ΔZ/убыль ПР |
|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
|                      | ΔZ                   | ΔP <sub>1</sub> | ΔP <sub>2</sub> | ΔP <sub>3</sub> |             |
| Бокситы              |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988            | +                    | +               | +               | +               | Рост ПР     |
| 1988—1993            | –                    | –               | –               | –               | Убыль Z     |
| 1993—1998            | +                    | +               | +               | +               | Рост ПР     |
| 1983—1998            | +                    | +               | –               | –               | 0,16        |
| Железные руды        |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988            | +                    | +               | +               | +               | Рост ПР     |
| 1988—1993            | +                    | +               | –               | –               | 0,03        |
| 1993—1998            | –                    | –               | +               | +               | Убыль Z     |
| 1983—1998            | +                    | +               | –               | –               | 0,43        |
| Ниобий               |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988            | +                    | –               | –               | –               | 0,08        |
| 1988—1993            | +                    | –               | –               | –               | 0,05        |
| 1993—1998            | +                    | –               | –               | –               | 0,02        |
| 1983—1998            | +                    | –               | –               | –               | 0,05        |
| Тантал               |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988            | +                    | –               | +               | –               | 0,40        |
| 1988—1993            | +                    | –               | –               | –               | 0,07        |
| 1993—1998            | +                    | –               | –               | –               | 0,13        |
| 1983—1998            | +                    | –               | –               | –               | 0,17        |
| Фосфориты            |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988            |                      | +               | –               | –               | Убыль Z     |
| 1988—1993            | +                    | +               | –               | –               | 0,03        |
| 1993—1998            | +                    | +               | –               | –               | 0,33        |
| 1983—1998            | +                    | +               | –               | –               | 0,07        |
| Апатиты              |                      |                 |                 |                 |             |
| 1983—1988            | +                    | –               | –               | –               | 0,04        |
| 1988—1993            |                      | –               | –               | –               | Убыль Z     |
| 1993—1998            | +                    | +               | +               | –               | 0,60        |
| 1983—1998            | +                    | +               | –               | –               | 0,04        |

Не вдаваясь в детали, отметим очевидное отсутствие зависимости между динамикой состояний прогнозных ресурсов всех категорий и состояний запасов. Обращают на себя внимание резкие перепады этих показателей по разным периодам оценок, явно избыточное наращивание прогнозных ресурсов (особенно категории  $P_3$ ) на фоне низких приростов запасов, весьма значительная убыль прогнозных ресурсов категорий  $P_2$  и  $P_1$ , несопоставимая с вновь выявленными запасами. Достаточно часты случаи убыли запасов на фоне снижения уровней прогнозных ресурсов различных или даже всех категорий.

Значения условных показателей перевода прогнозных ресурсов в запасы, рассчитанные как  $Z/\text{убыль ПР}$ , изменяются в весьма широких диапазонах (от первых до десятков процентов). Пожалуй, эти значения наиболее близки

к сбалансированному состоянию системы для МСБ золота, обладающей высокими мобильностью и ликвидностью. Преобладание показателей на уровне первых процентов свидетельствует об избыточности масс прогнозных ресурсов, в первую очередь, категории  $P_3$ . Отмеченные элементы разбалансированности в системе прогнозных ресурсов—запасы могут быть объяснены воздействием и негеологических факторов.

Однако более важным представляется то обстоятельство, что система реформ в минерально-сырьевом секторе экономики России с наибольшей интенсивностью охватила ту его часть, которая отвечает собственно недропользованию, т.е. эксплуатации и вовлечению в эксплуатацию ранее выявленных запасов полезных ископаемых. Собственно геологическая часть этого сектора, «создающая»



прогнозные ресурсы и приросты запасов, испытала некоторое реформирование в стадийности геологоразведочного процесса и значительные — в источниках его финансирования. В то же время классификация прогнозных ресурсов и запасов, т.е. результатов определенных стадий геологоразведочных работ, осталась неизменной.

В целом, в современном отечественном минерально-сырьевом секторе возник дисбаланс между системой недропользования и системой воспроизводства минерально-сырьевой базы и наращивания фонда недропользования в форме различных категорий прогнозных ресурсов и запасов, адекватных по классификации требованиям инвестиционной привлекательности. Кроме ряда негеологических причин на инвестиционную привлекательность отечественных месторождений влияют и различия между классификациями запасов России и зарубежных стран.

Принципиальное значение и расширенное целеназначение имеют классификации запасов и ресурсов, принятые к 1999 г. в форме кодексов в Австралии, Канаде, ЮАР, США и Австрало-Азиатском регионе (табл. 2). Эти кодексы, согласованные с фондовыми биржами, содержат унифицированные определения различных категорий ресурсов и запасов, регламентируют требования к ним, порядок оценки и экспертизы. Назначение этих документов — создание достоверной базы для капитализации запасов — включения их стоимости в цены акций. Такая форма привлечения инвестиций в минерально-сырьевой сектор более эффективна, чем целевое инвестирование новых отечественных проектов с ранее выявленными и неосваиваемыми запасами. По указанному направлению привлечения инвестиций уже начали продвигаться некоторые нефтедобывающие компании России.

Как представляется, совершенствование отечественной классификации прогнозных ресурсов и запасов должно учитывать изложенные выше результаты оценки ситуации при обеспечении допустимой преемственности с действующей в настоящее время системой ГРР. Цели такого совершенствования могут быть сформулированы следующим образом:

- ускорение реализации геологоразведочного процесса и усиление прогнозно-поисковой, т.е. минерально-сырьевой направленности ГРР;

- ускорение формирования поискового задела и воспроизводства ликвидного фонда недропользования;

- «расчистка» нераспределенного фонда прогнозных ресурсов с выявлением наиболее ликвидных объектов;

- создание объективных основ для независимого аудита ресурсов и запасов и обеспечения совместимости их классификаций с зарубежными;

- обеспечение необходимых предпосылок для капитализации ресурсов и запасов как одной из форм привлечения инвестиций в минерально-сырьевую сферу, а также для формирования экономической базы для недропользования на рентной основе.

Направления возможного реформирования классификации прогнозных ресурсов и запасов включают (табл. II, рис. 2, цветная вставка):

- введение категории «количественно оцененный металлогенический потенциал» (МР) с отнесением к нему наиболее ликвидной части ранее учтенных и вновь выявляемых прогнозных ресурсов категории  $P_3$  и частично  $P_2$ , обладающей недостаточной достоверностью;

- выделение одной категории прогнозных ресурсов, обладающей тем уровнем достоверности оценок, который необходим и достаточен для постановки поисковых работ масштаба 1:50 000 (общих поисков) с детализацией на отдельных участках;

- принятие решения о статусе прогнозных ресурсов категории  $P_1$ , оцененных на флангах и глубоких горизонтах

разведанных месторождений распределенного и нераспределенного фонда недр; в зависимости от ликвидности возможно их снятие с учета либо отнесение к пассивной части прогнозных ресурсов;

- выделение резервов (R) полезных ископаемых, отвечающих по достоверности зарубежной категории «измеренные ресурсы»;

- уточнение требований к запасам категорий  $C_2$  и  $ABC_1$  ( $B, C_1$ ) с целью обеспечения их соответствия зарубежным категориям «возможные» и «доказанные»;

- отнесение балансовых запасов, в настоящее время недоступных для использования по негеологическим причинам, к категории «граничных» или забалансовых.

**Стадийность ГРР на твердые полезные ископаемые (ТПИ).** Реформирование стадийности ГРР и проблемы их финансирования в целом привели к тому, что за последние годы происходило избыточное наращивание прогнозных ресурсов категории  $P_3$ , в то время как прогнозные ресурсы категорий  $P_2$  и  $P_1$  (резерв для прироста запасов) наращивались низкими темпами и весьма слабо вовлекались в поиски и оценку. Поэтому произошло общее снижение ликвидности прогнозных ресурсов в условиях сокращения «поискового задела», доступного для эффективного использования.

Уточненная в 1999 г. стадийность ГРР и вновь выделенные стадии не были приведены в необходимое соответствие с классификацией прогнозных ресурсов, тем самым были нарушены базовые принципы построения геологоразведочного процесса. Цели совершенствования стадийности ГРР на ТПИ заключаются в следующем:

- создание геологических и металлогенических основ многоцелевого назначения, отвечающих актуальным задачам отечественного природо- и недропользования в комплексном выражении;

- повышение мобильности системы прогнозные ресурсы—запасы;

- ускорение создания поискового задела и воспроизводства фонда недропользования;

- повышение уровня ликвидности фонда недропользования для его вовлечения в детальные поиски и оценку;

- обеспечение целевых поисков месторождений нетрадиционных и перспективных (для условий России) типов;

- создание геологических и металлогенических основ для выявления и формирования «фонда будущих поколений».

Основные направления совершенствования стадийности ГРР на ТПИ сопряжены с возможными изменениями классификации прогнозных ресурсов, в связи с чем целесообразно введение следующих стадий ГРР (табл. III, цветная вставка):

- в этап регионального геологического изучения: прогнозно-металлогеническое картирование с оценкой в количественном выражении металлогенического потенциала новых рудных районов и более локальных площадей;

- в поисковый этап: целевые рекогносцировочные поиски месторождений нетрадиционных и перспективных типов с локализацией перспективных площадей до уровня рудных полей и более локальных участков и выявлением прогнозных ресурсов с достоверностью, необходимой и достаточной для постановки собственно поисковых работ;

- поиски масштаба 1:50 000 (общие поиски) с детализацией на перспективных участках с целью подтверждения прогнозных ресурсов на локализованных площадях, выявления в их пределах резервов полезных ископаемых и получения на отдельных представительных участках запасов категории  $C_2$ .

Следует сохранить оценочную и разведочную стадии в современной форме, включая содержание работ и требования к их результатам с учетом необходимости обеспе-



2. Сопоставление определений ресурсов и запасов, используемых в классификациях ведущих зарубежных стран. Материалы подготовил А.Л.Галамов

| Кодекс JORC, 1999 г.<br>(Австралия)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Стандарт CIM, 1999 г.,<br>(Канада)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Кодекс SAMREC, 1999 г.<br>(Южная Африка)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Руководство SME, 1999 г.<br>(США)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Объединенный Комитет по Рудным Запасам Австралийского Института Горного дела и Металлургии, Австралийского Института геологов и Австралийский Совет по минеральным ресурсам                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Канадский Институт Горного дела, Металлургии и Нефти                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Южно-Африканский Комитет по минеральным ресурсам («SAMREK») под эгидой Южно-Африканского Института Горной промышленности и Металлургии («САИММ»)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Совет Горной промышленности и Металлургических предприятий (СММИ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>Минеральные ресурсы — концентрация или проявления естественного материала, представляющего экономическую ценность в земной коре в формах и количествах, обуславливающих экономически обоснованные прогнозы по извлечению. Минеральные ресурсы подразделяются по степени геологической достоверности на прогнозируемые, выявленные и измеренные. При этом оценка категорий не является точным измерением, а зависит от интерпретации ограниченных геологических данных и опробования</p>                                     | <p><i>Минеральные ресурсы</i> — концентрации или проявления естественного материала, представляющего экономический интерес в земной коре в формах и количествах такого качества, имеющего реальные перспективы для экономического использования. При этом положение, количество, качество, геологические свойства и непрерывность минеральных ресурсов оцениваются по результатам геологического изучения</p>                                                                                                                                 | <p><i>Минеральные ресурсы</i> — концентрация или проявления естественного материала, представляющего экономический интерес в земной коре (месторождение) в формах и количествах, обуславливающих экономически обоснованные прогнозы по извлечению. Минеральные ресурсы подразделяются по степени геологической достоверности на предполагаемые, выявленные и измеренные. Участки месторождения, не имеющие реальных перспектив для экономического извлечения, в состав минеральных ресурсов не включаются</p>                      | <p><i>Минеральные ресурсы</i> — концентрация или проявления естественного материала, представляющего экономический интерес в земной коре (месторождение) в формах и количествах, обуславливающих экономически обоснованные прогнозы по извлечению. Минеральные ресурсы подразделяются по степени геологической достоверности на предполагаемые, выявленные и измеренные. Участки месторождения, не имеющие реальных перспектив для экономического извлечения, в состав минеральных ресурсов не включаются</p> |
| <p><i>Предполагаемые минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, для которых тоннаж, качество и содержание минерала могут быть оценены на низком уровне. Это принимается, исходя из результатов изучения геологического строения и предполагаемой геологической и (или) качественной непрерывности, полученных соответствующими методами по естественным обнажениям и горным выработкам редкой сети</p>                                                                                                              | <p><i>Предполагаемые минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, качество и содержание минерала в которых оцениваются по геологическим данным, ограниченному числу проб и приемлемой для данного уровня достоверности геологической и качественной непрерывности. Оценка ресурсов основывается на данных ограниченных геологического изучения и опробования, полученных соответствующими методами по естественным обнажениям и горным выработкам</p>                                                                                | <p><i>Предполагаемые минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, качество и содержание минерала в которых оцениваются предположительно по данным геологического изучения и выявленной геологической и (или) качественной непрерывности. Оценка основана на ограниченных данных геологического изучения и опробования, полученных соответствующими методами по редкой и неравномерной сети естественных обнажений и горных выработок</p>                                                                           | <p><i>Предполагаемые минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, качество и содержание минерала в которых оцениваются предположительно по данным геологического изучения и выявленной геологической и (или) качественной непрерывности. Оценка основана на ограниченных данных геологического изучения и опробования, полученных соответствующими методами по редкой и неравномерной сети естественных обнажений и горных выработок</p>                                                      |
| <p><i>Выявленные минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, плотность, форма, физические свойства, качество и содержание минерала которых могут быть оценены на приемлемом уровне достоверности по результатам геологического изучения, опробования и заверки геологических данных, полученных соответствующими методами по естественным обнажениям и горным выработкам, редкая сеть которых достаточна, чтобы оценить геологическую и (или) качественную непрерывность с заданным уровнем достоверности</p> | <p><i>Выявленные минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, качество и содержание минерала в которых оцениваются с достаточной надежностью, чтобы служить основой для инвестиционных решений. Оценка ресурсов базируется на результатах геологических работ, опробования и использовании материалов, полученных соответствующими методами по естественным обнажениям и горным выработкам, редкая и (или) неравномерная сеть которых достаточна для выявления геологической непрерывности на данном уровне достоверности</p> | <p><i>Выявленные минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, плотность, форма, физические свойства, качество и содержание минерала которых оцениваются на приемлемом уровне надежности. Оценка основывается на результатах геологических работ, опробования и использовании информации, полученной соответствующими методами по естественным обнажениям и горным выработкам, широкая и неравномерная сеть которых позволяет на приемлемом уровне подтвердить геологическую и (или) качественную непрерывность</p> | <p><i>Выявленные минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, плотность, форма, физические свойства, качество и содержание минерала которых могут быть оценены на приемлемом уровне достоверности по результатам опробования и данным, полученным соответствующими методами по естественным обнажениям и горным выработкам, редкая сеть которых достаточна для оценки степени непрерывности</p>                                                                                               |



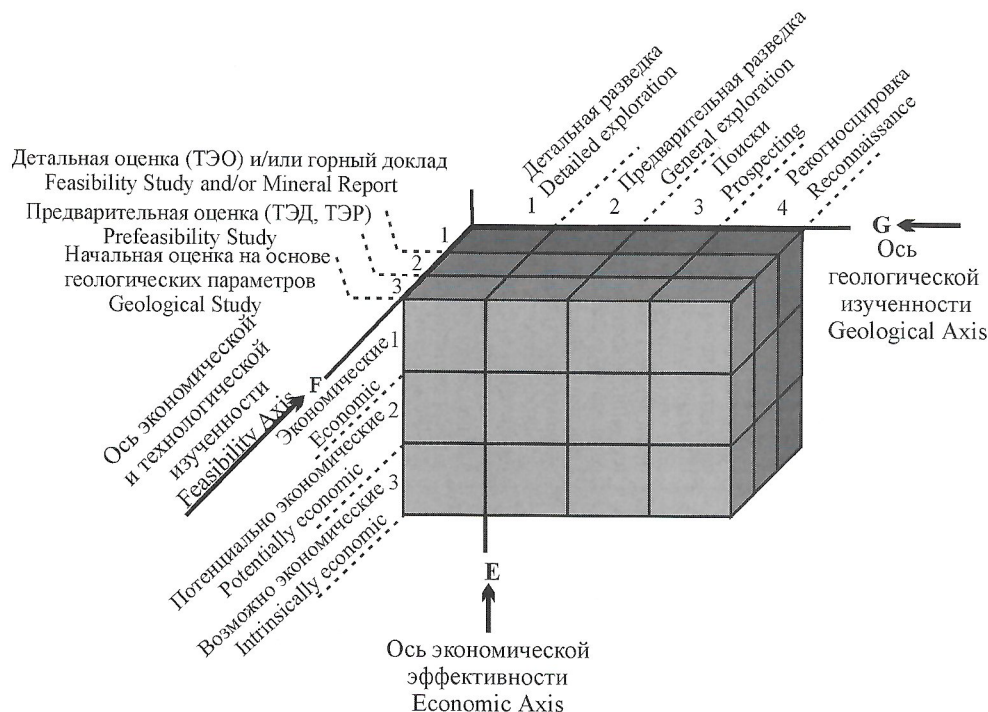


Рис. 3. Структура классификации запасов РК ООН

ния уровней достоверности выявления запасов, отвечающих категориям «вероятные» и «доказанные».

Сближение отечественной классификации ресурсов и запасов с классификациями, принятыми в кодексах ведущих зарубежных стран, и эквивалентные преобразования стадийности ГРП создают исходные предпосылки для капитализации выявленной ценности недр, что может, с одной стороны, повысить инвестиционную привлекательность отечественных недр, а с другой, сформировать потенциальную экономическую основу перехода на рентное недропользование.

**Рамочная классификация запасов ООН (РК ООН).** Данная классификация по замыслу ее разработчиков имеет цель — интеграция оценок запасов разных стран мира на основе единых показателей изученности запасов и их экономической доступности. Естественно, что достижение поставленной цели обеспечивает решение задач соответствующих комиссий и агентств ООН по унификации и своду глобальных оценок минерально-сырьевых ресурсов, что имеет общечеловеческую ценность, особенно для анализа возможностей реализации благородной идеи сбалансированного развития цивилизации.

На рис. 3 приведена принципиальная схема классификации РК ООН, которая фактически представляет развитие ранее созданной в Геологической службе США трехмерной системы классификаций, известной под названи-

ем коробка («box») Маккелви. В этой системе каждая из трех осей имеет различную нагрузку: изученности и достоверности — геологической (G), технико- и геолого-экономической (F); собственно экономической (E) значимости. В системе этих координат запасы, отвечающие той или иной изученности, выделяются как трехмерные тела. Данная структура запасов РК ООН была детально рассмотрена в статьях О.В.Заборина и В.А.Коткина, М.Н.Денисова и К.П.Кавуна, опубликованных в журнале «Минеральные ресурсы России». Вместе с тем, возможна оценка ее приложимости на основе нескольких иных подходов.

Отечественная классификация, как хорошо известно, обеспечивает равные уровни как собственно геологической, так и геолого-экономической (включая технологическую) изученности, тогда как проект РК ООН предполагает отсутствие этих возможностей, чем и определяется введение показателя F в качестве независимой характеристики и третьей оси диаграммы.

Для упрощения сравнительного анализа трехмерная система координат РК ООН спроектирована на плоскость (рис. 4), что облегчает необходимые сопоставления. При этом запасы и прогнозные ресурсы различных категорий отражены в форме точек.

На рис. 5 (цветная вставка) в поле G—F точки различных категорий прогнозных ресурсов и запасов расположены на одной прямой, что отражает равные уровни детальности

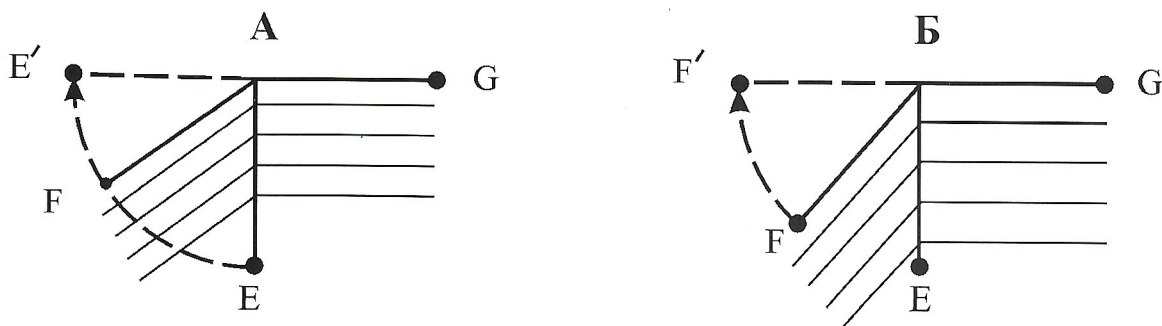


Рис. 4. Развертка диаграммы РК ООН



| Кодекс JORC, 1999 г.<br>(Австралия)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Стандарт CIM, 1999 г.<br>(Канада)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Кодекс SAMREC, 1999 г.<br>(Южная Африка)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Руководство SME, 1999 г.<br>(США)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Измеренные (оцененные) минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, для которых тоннаж, плотность, форма, физические свойства, качество и содержание минерала могут быть оценены с высоким уровнем достоверности. Оценка ресурсов основывается на результатах опробования и использовании информации, собранной соответствующими методами по естественным обогащениям и горным выработкам, сеть которых достаточна, чтобы подтвердить геологическую и(или) качественную непрерывность</p> <p><i>Возможные запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных и в некоторых случаях выявленных минеральных ресурсов; представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерями рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горно-промышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p> | <p><i>Измеренные (оцененные) минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, качество и содержание минерала в которых являются настолько достоверно установленными, что могут служить основой эксплуатационного планирования. Оценка ресурсов базируется на результатах опробования и использовании информации, собранной соответствующими методами по естественным обогащениям и горным выработкам, сеть которых достаточна для подтверждения геологической и качественной непрерывности</p> <p><i>Возможные запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных и в некоторых случаях выявленных минеральных ресурсов. Представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерей рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать предварительное проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p> | <p><i>Измеренные (оцененные) минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, плотность, форма, физические характеристики, качество и содержание минерала которых оцениваются с высоким уровнем достоверности. Оценка основывается на результатах опробования и использовании информации, полученной соответствующими методами по естественным обогащениям и горным выработкам, сеть которых достаточна для подтверждения геологической и(или) качественной непрерывности</p> <p><i>Возможные запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных и в некоторых случаях выявленных минеральных ресурсов; представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерями рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p> | <p><i>Измеренные (оцененные) минеральные ресурсы</i> — часть минеральных ресурсов, масса, плотность, форма, физические свойства, качество и содержание минерала которых оцениваются с высоким уровнем достоверности по результатам опробования и информации, полученным соответствующими методами по естественным обогащениям и горным выработкам, сеть которых достаточна для подтверждения геологической и(или) качественной непрерывности</p> <p><i>Возможные запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных и в некоторых случаях выявленных минеральных ресурсов; представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерями рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p> |
| <p><i>Доказанные (подтвержденные) запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных минеральных ресурсов, представленная сопутствующими добыче разубоживанием и потерями рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать проведение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий данная оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><i>Доказанные (подтвержденные) запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных минеральных ресурсов. Представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерями рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать предварительное проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p><i>Доказанные (подтвержденные) запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных минеральных ресурсов; представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерей рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><i>Доказанные (подтвержденные) запасы</i> — экономически эксплуатируемая часть измеренных минеральных ресурсов; представлена сопутствующими добыче разубоживанием и потерей рудной массы. Соответствующая оценка, которая может включать проведение ТЭО, предусматривает изучение и адаптацию к реалиям горнопромышленных, металлургических, экономических, маркетинговых, экологических, социальных и правительственных факторов. При проведении экспертных мероприятий эта оценка предусматривает обоснование эксплуатации</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



собственно геологической и геолого-экономической (технико-экономической) изученности соответствующих объектов (рудные районы—рудные тела), т.е. принятые в России требования к изученности, выраженные в стадийности ГРР и классификации запасов и прогнозных ресурсов. При соблюдении указанных требований соответствующие точки образуют «ряд роста достоверности» по значениям G и F. Этому положению не отвечают лишь те месторождения, геолого- и технико-экономические оценки которых были выполнены ранее и нуждаются в актуализации. Такие месторождения находятся в нераспределенном фонде, современная переоценка которого позволит или снять соответствующие объекты с учета, или определить их место в указанном выше ряду.

Этот ряд выдерживается для прогнозных ресурсов в силу того, что их экономическая значимость оценивается не в прямых экономических, а косвенных показателях — доступности для геологического освоения (не для эксплуатации).

На рис. 6 (цветная вставка) месторождения в границах полей запасов расположены в целом симметрично относительно оси E, точки фиксируют соответствие детальности геологической изученности (поле E-G) наличию соответствующих постоянных (эксплуатационных) или временных кондиций (поле E-F), подтверждая теоретическое распределение запасов различной степени геологической и технико-экономической изученности.

В целом, проведенный анализ показывает, что ресурсы и запасы в отечественной системе учета удовлетворительно отражаются в двумерной системе координат: достоверность всех видов исследований, требуемых соответствующими стадиями ГРР, — экономическая значимость объектов. Это плоскостное отображение по своему содержанию не противоречит трехмерной системе. Вместе с тем, для полноты совмещения классификаций необходимо принятие общих либо близких наименований однотипных категорий запасов и ресурсов и унификация требований к ним.

Из постановления коллегии Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 21 января 2003 г.

«Коллегия постановляет:

2. Одобрить в целом проект классификации ресурсов и запасов углеводородного сырья и проект классификации ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых.

3. По основным направлениям деятельности Государственной геологической службы в 2003 г. в качестве приоритетных задач определить следующие:

.....  
актуализация классификаций прогнозных ресурсов и запасов нефти и газа, твердых полезных ископаемых и стадийности геологоразведочных работ».



## «Отечественная геология» и российская геологическая картография

А.Ф.МОРОЗОВ, А.Ф.КАРПУЗОВ (МПР России), О.В.ПЕТРОВ (ВСЕГЕИ)

Первый выход в свет в 1933 г. нового геологического журнала «Проблемы советской геологии» (переименованного сначала в «Советскую геологию», а затем в «Отечественную геологию») совпал с периодом расцвета советской геологической картографии. Россия всегда уделяла особое внимание вопросам сводного и обзорного геологического картографирования в силу своего географического, геополитического положения, огромных территорий и разнообразия геологических обстановок.

Фактический материал, накопленный советскими геологами к середине 30-х годов, давал возможность приступить к составлению сводных геологических карт СССР. Именно проблемам сводного картосоставления и отражению на них особенностей геологического строения страны и были посвящены первые номера журнала «Проблемы советской геологии». Выдающийся советский геолог, академик и первый главный редактор журнала Иван Михайлович Губкин правильно определил стратегию своего «детства» — пропаганда научно-технических достижений в сфере наук о Земле и коллективное обсуждение проблем развития отечественной геологии и развития минерально-сырьевых ресурсов страны. В 1937 г. к XVII сессии Международного геологического конгресса в Москве была опубликована «Геологическая карта СССР» масштаба 1:5 000 000 под редакцией Дмитрия Васильевича Наливкина, которая вызвала огромный научный и практический резонанс среди советской и зарубежной геологической общности. Данная карта и появившаяся в 1940 г. «Геологическая карта СССР» масштаба 1:2 500 000 под его же редакцией легли в основу монографии «Геология СССР», ознаменовав тем самым начало системного изучения и познания геологического строения страны. С этого времени и до конца жизни Д.В.Наливкин бессменный редактор сводных геологических карт СССР, на которых как в зеркале читаются история геологического изучения и открытия месторождений полезных ископаемых в СССР. Очень образно и красиво об этом выдающемся геологе написал в одной из своих работ Лев Исаакович Красный: «его курс «Геология СССР» вместе с составлением геологических карт страны — единый благородный сплав, составивший целую эпоху в познании Родины».

В конце 1938 г. состоялось Всесоюзное совещание по геологической карте СССР масштаба 1:1 000 000, на котором были рассмотрены карты по 30 номенклатурным листам и определен порядок их составления. В эти же годы в ЦНИГРИ (так называлось тогда ВСЕГЕИ) были подготовлены «Инструкция для составления авторских оригиналов Гостеолкарты-1000», «генеральная легенда» и другие документы (пробораз современной нормативно-методической базы Гостеолкарты-1000, третье издание). В период Великой Отечественной войны геологические исследования были сконцентрированы в районах, наиболее важных и перспективных в качестве горнодобывающих: восточные районы страны, Казахстан и Средняя Азия, Урал. В этот нелегкий для страны период геологи перешли к составлению региональных геологических карт и карт полезных ископаемых, которые отражали реальное состояние минерально-сырьевой базы того или иного региона СССР. Именно карты полезных ископаемых на геологической основе масштаба 1:1 000 000 сыграли огромную роль при

выявлении полезных ископаемых, методического обеспечения геологоразведочных и добычных работ широко освещались в журнале. На его страницах публиковались работы выдающихся советских геологов Д.В.Наливкина, А.П.Марковского, А.Н.Герасимова, Н.С.Шатского, А.Н.Заварицкого, В.А.Обручева, А.Е.Ферсмана, Л.Н.Криштофовича, Паффенгольца, И.М.Губкина и многих других, заложивших основной фундамент в развитии геологических исследований на территории СССР для всех последующих поколений советских геологов.

Прогрессивным увеличением геологической изученности страны, увеличением объемов геолого-съемочных и картосоставительских работ, повышением их детальности, появлением специализированных поисков характеризуются 40–80-е годы XX в. Совершенствование системы государственного геологического картографирования имело новое значение в связи с потребностью значительного увеличения добычи минерального сырья, ликвидации на геологических картах страны оставшихся «белых пятен» и повышения глубинности геологоразведочных работ. Это привело к росту объемов геологоразведочных работ, совершенствованию методики их проведения, региональному прогнозу полезных ископаемых. Сильнейшее влияние на развитие картирования и повышение степени геологической и поисковой изученности СССР оказало Постановление Совета Министров СССР 1954 г., которое установило, что государственное геологическое картирование — основа комплексного планомерного геологического изучения, поисков полезных ископаемых и оценки минерально-сырьевых ресурсов страны. Лавинообразное увеличение объемов геолого-съемочных работ, особенно масштаба 1:200 000, резко повысило геологическую изученность СССР в целом, отдельных регионов Забайкалья, Востока и Северо-Востока страны, привело к открытию ряда крупных объектов минерально-сырьевого комплекса: золота, алмазов, олова, полиметаллов, никеля, урана. Именно геология явилась пионером в освоении крупных, труднодоступных регионов Якутии, Чукотки, Магаданской области, Таймыра и др. Вопросы геологии и полезных ископаемых отдельных регионов и районов, строения месторождений полезных ископаемых, методические и технологические вопросы их освоения все чаще становились предметом жаростных дискуссий в журнале «Советская геология». Этому в немалой степени способствовали и результаты государственной геологической съемки масштаба 1:200 000 в труднодоступных регионах, главная заслуга в проведении которых принадлежит геологам ВСЕГЕИ, ВАГТ (впоследствии «Аэрогеология») и территориальных производственных геологических объединений. Соотношение геологической съемки и поисков полезных ископаемых по-прежнему оставалось в центре внимания геологов, руководителей работ, научной геологической общественности. Дело в том, что в Постановлении Совмина СССР от 1954 г. был заложен правильный тезис о том, что геологическая съемка — лучший метод поисков. В ходе многолетней дискуссии на страницах журнала большинство высказалось за включение поисков в технологию геолого-съемочных работ, особенно геологической съемки масштаба 1:50 000. Со временем этот вид съемки практически превратился в разновидность поисковых работ. Другим важным следствием данного Постановления явилось и резкое усиление прогнозно-металлогенических работ. Усилиями К.И.Сатпаева, Ю.А.Билибина, Е.Т.Шаталова, В.Т.Матвиенко, Е.А.Радкевич, А.Д.Щеглова, Д.В.Рундквиста, Н.П.Лаврова, А.И.Кривцова и других

проектировании резервных минерально-сырьевых баз СССР в 1940–1945 гг. Вполне естественно, что вопросы проведения государственных геологических съемок, их стратиграфо-палеонтологического и петрографического обеспечения, прогнозирования стратегических для страны



крупных геологов было создано и успешно развивается новое направление в картировании полезных ископаемых — минерагеническое. Учитывая научный авторитет этих ученых и их последователей, а также новизну и актуальность поднимаемых ими проблем, редколлегия журнала предоставляла им возможность высказываться на своих страницах, тем самым поддерживая традиции и сложившуюся научную нишу своего издания. Разработанные ими основы металлогенического анализа, научно-методическая база региональной и прикладной металлогении, а также вопросы металлогении отдельных металлов через журнал обсуждались геологической общественностью. Эти исследования охватывали широкий круг вопросов от детального изучения залежей минерального сырья до создания региональных металлогенических карт и прогнозных оценок рудных провинций в глобальном масштабе. Главный итог развития этого направления в СССР — создание в конце 80-х годов атласа «Металлогения СССР» с объяснительными записками (главный редактор Д.В.Рундквист), научно-практическое значение которого не потеряно и до сих пор.

Вечный спор фиксистов и мобилистов, особенно в металлогеническом аспекте, приобрел особенную остроту среди геологов в конце 80-х годов с изданием «Геодинамической карты СССР и прилегающих акваторий» масштаба 1:2 500 000 (редакторы Л.П.Зоненшайн, Н.В.Межеловский, Л.М.Натапов). Редколлегия журнала в этом споре заняла очень взвешенную позицию, давая возможность отстаивать свои теории как одной, так и другой сторонам. Карты на основе тектоники литосферных плит все чаще стали содержать элементы металлогенической нагрузки, а их авторы пытались отразить на них геодинамические условия или обстановки формирования тех или иных рудных формаций. Необходимо отметить, что формационный анализ в целом и рудно-формационный анализ в частности сыграли значительную роль в познании вещественных комплексов, решении вопросов их корреляции, определении места и роли в истории геологического развития регионов. Проблема не потеряла актуальность и в наши дни. «Минерагеническая карта России и сопредельных территорий» на геодинамической основе, коллективный труд геологов ФГУНПП «Аэрогеология» под редакцией А.Ю.Егорова и Ю.Н.Роднова, подготовленная к изданию в 2001 г., тематическая серия монографий по металлогении рудно-формационных рядов геодинамических обстановок под редакцией Н.В.Межеловского, А.Ф.Морозова тому подтверждение.

Еще одной особенностью этого периода стало внедрение научно-технических достижений и технологий в практику геолого-съемочных и геологоразведочных работ. Геохимические, геофизические, дистанционные методы съемок и поисково-разведочных работ все активнее находили свое место в технологиях их проведения, что сразу было отражено на картах. Специализированные карты геохимических полей, глубинного строения земной коры и верхней мантии по материалам геофизических исследований и данных глубинного бурения имели очень важное значение для создания объемных моделей геологического строения территорий и отдельных геологических структур, в познании истории их развития и оценке минерально-сырьевого потенциала. В этот период формировался новый подход — геолого-геофизическое моделирование, основанное на комплексном геолого-геофизическом исследовании геотраверсов или трансектов, опирающихся на геофизические материалы и материалы глубокого бурения. К сожалению, комплексная обработка этой объемной и богатейшей информации не могла быть проведена ввиду отсутствия необходимой программно-технологической базы.

В 90-е годы вместе с перестройкой государственной системы СССР происходит перестройка геологической

службы и, как следствие, всей системы геологического картирования. Перестройка касалась не только организационной структуры геологического изучения территории страны, но и смены стадийности геолого-съемочных работ, теоретических концепций и технологий картирования. Сегодня уже можно смело сказать, что эти изменения, как следствие смены существовавшей ранее экономической системы, носили характер научно-технической революции в геологическом картировании. Главными особенностями этих революционных преобразований стали:

внедрение компьютерных технологий на всех этапах проведения региональных геолого-геофизических и геолого-съемочных работ;

отказ от старой стадийности проведения геологоразведочных работ и переход на новую стадийность геологического изучения территории России;

усиление изучения глубинного геологического строения территории на основе современных геолого-геофизических наукоемких технологий;

сертификация, анализ и интенсификация использования всего ранее накопленного информационного массива результатов геологических исследований.

Знаковыми событиями, определившими стратегию и тактику регионального геологического изучения страны до 2001 г., кроме принятия Федеральной целевой программы и новой концепции регионального геологического изучения, явились публикации материалов научно-практического семинара по методике и организации проведения геологического доизучения ранее занятых площадей в масштабе 1:200 000 и статьи «Геологическое картирование и географические информационные системы» (Отечественная геология. 1995. № 11). В этих работах, кроме всестороннего экспертного анализа современного состояния геологического картирования в России, были намечены конкретные механизмы и технологические решения перестройки существовавшей ранее системы геологического картирования. Главными задачами, которые ставились перед геологами страны, были: завершение составления второго издания Госгеолкарты-1000, перевод предприятий на новые технологии картосоставления, совершенствование научно-методического сопровождения геологического изучения недр, совершенствование организационной и кадровой структур регионального геологического изучения, переход на ГДП-200, создание современной методической базы геологического доизучения. Сокращение ассигнований, отток геологов среднего и молодого возраста привело к сокращению общих объемов геологических съемок масштаба 1:200 000, которые только к 1999 г. достигли уровня середины 80-х годов, и полностью прекращению съемок масштаба 1:50 000, что привело к резкому сокращению поискового задела в нераспределенном фонде недр. Несмотря на эти и другие негативные явления, геологическое изучение страны продолжалось, хотя и замедленными темпами. Геологическая изученность России к 2001 г. составила в масштабах 1:1 000 000 100%; 1:200 000 89% (включая 31% территории, изученной современными съемками); 1:50 000 23,3% (большая часть материалов устарела, и сегодня ни один горно-рудный район не имеет современной геологической основы масштаба 1:50 000 и крупнее).

В результате проведенных работ в этот период получены и значительные достижения в области регионального геологического картирования и геолого-минерагенического изучения территории страны. Усилиями научного коллектива геологов ВСЕГЕИ созданы и изданы комплекты обзорных карт, включая «Геологическую карту России масштаба 1:2 500 000», «Геолого-минерагеническую карту мира», «Геологическую карту Сибирской платформы» и



др., которые послужили визитной карточкой России на Международном геологическом Конгрессе в Бразилии.

В 2001 г. полностью закончено составление и издание Государственной геологической карты на континентальную часть России масштаба 1:1 000 000, что знаменует завершение огромного труда российских геологов по систематизации геологических знаний и оценке потенциала минеральных ресурсов. Большую роль в успешной реализации этого более чем 25-летнего проекта сыграли геологические коллективы ВСЕГЕИ, «Аэрогеология», СНИИГ-ГиМС, ВостСибНИИГиМС, ВНИИОкеангеология, Якутской ПСЭ, Хабаровскгеология. В 1966 г. завершение первой серии Госгеолкарты-1000 было оценено советской и международной геологической общественностью как крупное геологическое обобщение огромного, структурно разнородного региона мира. За эту работу наиболее активные участники были награждены высокими правительственными и научными наградами. В 2001 г. это событие прошло почти незаметно.

В 2000 г. практически полностью завершено создание современной методической базы для среднемасштабных, в первую очередь ГДП-200, геологических съемок, что позволило вывести составление государственной геологической карты масштаба 1:200 000 на совершенно новый технологический и информационный уровень, отвечающий самым высоким международным требованиям. Большой вклад в разработку данного пакета, который представляет собой значительный шаг в развитии геологической картографии и методики картографирования, внесли научные коллективы под руководством А.И.Бурдэ, В.В.Старченко, З.Д.Москаленко, А.Ф.Морозова, Н.В.Мержеловского и др.

Значительным событием атласной картографии стала публикация в 1996 г. «Геологического атласа России» масштаба 1:1 000 000 под редакцией А.А.Смыслова, Н.В.Мержеловского, за что в 2000 г. коллектив исполнителей был удостоен Государственной премии России.

Отдельно необходимо выделить проблему внедрения компьютерных технологий. Появление и доступность пер-

сонального компьютера сделало его неотъемлемой частью единого информационно-технологического процесса составления и издания карт геологического содержания, а также анализа огромных массивов разнородной геолого-геофизической информации. Перспективность данного направления одинаково хорошо понимали как руководители Роскомнедра и МПР России, так и геологи-практики. Но только последовательность, энергия и упорство идеологов данного направления М.А.Белобородова, Е.Н.Черемисиной и др. позволили внедрить компьютерные технологии в практику всех геолого-съемочных работ и сделать процесс информатизации геологической отрасли необратимым.

В заключение этого краткого обзора истории «Отечественной геологии» и отечественной геологической картографии остановимся на основных тенденциях ее развития:

- непрерывная эволюция содержания, дизайна и комплексов карт геологического содержания;

- увеличение глубинности исследований и отражение полученных результатов на картах;

- постоянное совершенствование методики обработки первичных и производных геологических данных и составления карт на базе информационных технологий;

- повышение требований к отражению на картах информации и данных по полезным ископаемым и минерально-сырьевым ресурсам;

- совершенствование методологических подходов, теории геологической картографии, геолого-картографической терминологии;

- повышение социальной значимости и доступности карт геологического содержания;

- переход от масштабного ряда картографирования к единой системе картографических баз данных, увязанной с локальными базами первичных данных и структурой управления, через механизмы генерализации объектов картографирования и единой серийной легенды системы.

Эти и другие актуальные вопросы региональной геологии и металлогении должны найти адекватное отражение в будущих выпусках журнала «Отечественная геология».



## Прикладная геохимия — проблемы и пути развития

Н.П.ЛАВЕРОВ, А.А.КРЕМЕНЕЦКИЙ, Э.К.БУРЕНКОВ, А.А.ГОЛОВИН (ИМГРЭ)

В XXI веке — веке Интернета и ГИС-технологий, когда в передовых странах основным товаром становится интеллект, когда приблизительные эмоциональные субъективные оценки заменяются точными оценками — мерой и числом, на первый план в прикладном естествознании должны выдвигаться такие науки, как прикладная геохимия. Это тем более правильно, что дальнейшее широкое развитие природоэксплуатирующих и ресурсопользующих технологий, усиление антропогенного пресса на природную среду еще острее ставят вопрос о допустимом соотношении между интенсивностью и направлениями хозяйственной деятельности и состоянием среды обитания человека, на чем базируется парадигма устойчивого развития стран. Немалый вклад в решение этих проблем вносит журнал «Отечественная геология».

Геохимические методы возникли впервые в нашей стране под влиянием научных идей В.И.Вернадского, В.Гольдшмидта, А.Е.Ферсмана, Ф.Кларка. С 1932 г. работами Н.И.Сафронова, А.П.Соловова, Е.А.Сергеева, С.Д.Миллера, Д.П.Малюги, А.П.Виноградова, А.А.Саукова, И.И.Гинзбурга, В.И.Красникова и других закладывались основы применения геохимических методов для поисков рудных и нефтяных месторождений. Через 10 лет эти методы начали развиваться за рубежом — T.S.Lovering, H.T.Morris, L.C.Huff, J.R.Copper, K.Ramakata и др.

Наиболее широкое развитие работ по разработке геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых приходится на последние 35—40 лет: Э.Н.Баранов, В.Л.Барсуков, А.А.Беус, С.В.Григорян, Е.М.Квятковский, Л.Н.Овчинников, А.И.Перельман, В.В.Поликарпочкин, А.П.Соловов, Н.Н.Сочеванов, Л.В.Тайсон, N.L.Barnes, R.W.Boyle, F.M.Cameron и др. В это время интенсивные исследования проводились на площадях рудных полей и месторождений основных геолого-промышленных типов. Изучались первичные (С.В.Григорян, Л.Н.Овчинников, Э.Н.Баранов, В.Л.Барсуков, Е.М.Квятковский и др.), вторичные литохимические ореолы и потоки рассеяния (С.П.Албул, А.П.Соловов, В.В.Поликарпочкин и др.), гидрогеохимические (А.А.Бродский, А.М.Овчинников, П.Л.Удолов, С.Л.Шварцев, С.Р.Крайнов, Г.А.Голева, Б.А.Колотов, R.Allan, H.E.Hawkes, J.S.Webb и др.), биогеохимические (Д.А.Малюга, Л.А.Ковалевский, Л.И.Грабовская, Р.Р.Bruks, H.L.Cannon, H.V.Warren и др.), атмогеохимические ореолы (В.А.Соколов, Н.А.Озерова, В.П.Федорчук, А.И.Фридман, В.З.Фурсов, J.H.McCarthy и др.). Эти исследования позволили открыть универсальное явление геохимической зональности (Л.Н.Овчинников, С.В.Григорян), обосновать критерии выявления геохимических ореолов, интерпретации минерально-геохимического типа связанного с ними оруденения, отбраковки зон рассеянной минерализации и количественной оценки прогнозных ресурсов, разработать технологии полевых, аналитических и камеральных работ. Была установлена важнейшая роль ландшафтно-геохимических условий в проявляемости и особенностях строения и состава вторичных геохимических ореолов, созданы подходы к учету этих условий при выборе эффективных геохимических методов (А.И.Перельман, М.А.Глазовская, В.В.Добровольский, И.А.Морозова и др.). Были разработаны и внедрены математические методы обработки и интерпретации

геохимической информации (А.Б.Вистелиус, Р.И.Дубов, Д.А.Родионов, А.Н.Бугаец, В.Н.Бондаренко, Г.А.Вострокнутов, Б.С.Коган, Л.Н.Гинзбург, Л.А.Верховская, А.И.Бурого, В.И.Мишин, G.Matheron, L.H.Ahrens, F.Chayes, F.Wilcoxon и др.).

Использование методов прикладной геохимии для оценки экологического состояния окружающей среды началось в 1976 г. с исследований, проводимых под руководством Ю.Е.Саета и Э.К.Буренкова. Эти исследования опирались, с одной стороны, на разработки А.П.Виноградова, В.В.Ковальского, В.А.Ковды и их последователей, а с другой, на опыт поисковой геохимии. Эколого-геохимические работы сразу же были довольно широко развернуты как в нашей стране, так и за рубежом (А.А.Беус, М.А.Глазовская, В.К.Лукашев, К.И.Лукашев, В.В.Иванов, В.В.Ковальский, В.А.Алексеев, А.И.Перельман, Н.С.Касимов, E.Goldberg, U.Forstner, J.A.C.Fortescue, H.J.M.Bowen, E.I.Hamilton и др.).

С начала последнего десятилетия XX в. комплексное решение природоохранных и ресурсных задач составляет цель ряда международных проектов по геохимическому картированию, к числу которых относятся: IGCP-259 — «Международное геохимическое картирование»; 360 — «Глобальные изменения»; проекты «Nord Collot» и «Middle Norden» Швеции, Финляндии, Норвегии; проект 17 европейских стран (A.G.Darnley, J.A.Plant, R.Salminen, A.J.Bjorklund, B.Bolviken, N.Gustavsson, Э.К.Буренков, П.В.Коваль, Xie Xuejing и др.).

Таким образом, к началу XXI в. области применения геохимических методов довольно обширны. Прежде всего, это прогноз, поиски и оценка месторождений полезных ископаемых.

В основе **технологии геохимических работ** (ГХР) лежит принцип последовательной локализации перспективных площадей. Исходный масштаб ГХР выбирается в зависимости от масштаба, степени и качества геолого-геохимической изученности территории, ее металлогенической перспективности, важности хозяйственного освоения. Высокая эффективность такой технологии, как показал многолетний опыт, определяется тем, что на каждой стадии работ отбраковывается 60—80% неперспективных и слабо перспективных площадей, что, во-первых, значительно повышает надежность прогнозно-поисковых и прогнозно-оценочных работ, а, во-вторых, позволяет сосредоточить дорогостоящие объемы горнобуровых работ на локальных высокоперспективных участках.

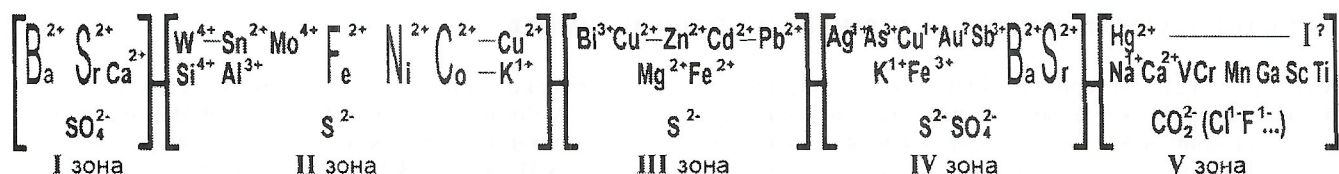
Высокая надежность применения геохимических методов определяется использованием комплекса критериев выявления, интерпретации и оценки аномальных геохимических полей (АГХП). Степень перспективности АГХП уточняется на основе комплекса геологических и геофизических предпосылок и данных дистанционного зондирования.

Зональность ореолов — это их удивительное и уникальное свойство служит основой интерпретации минерально-геохимического типа месторождения (симметричная концентрационная зональность) и оценки степени сохранности, уровня эрозионного среза рудовмещающих структур (асимметричная сепарационная зональность).

В результате изучения большинства месторождений колчеданной формации Урала, Кавказа и Рудного Алтая, одним из авторов настоящей статьи [7] был установлен



эмпирический ряд рудно(ореоло)-метасоматической зональности, который имеет следующий вид:



Этот ряд имеет статистический характер и передает единую зональность процесса рудообразования в самом широком понимании, включая вынос, привнос и перераспределение халько-, лито-, сидерофильных и других химических элементов, приведших как к образованию руд и окаймляющих их первичных ореолов, так и гидротермально-метасоматическому изменению вмещающих пород. Асимметричная сепарационная зональность, приведенная выше, успешно применяется для оценки уровня, эрозионного среза прогнозируемых месторождений. Для этого используются различные виды коэффициентов зональности ( $K_z$ ). В качестве примера на рис. 1 приведено распределение

$$K_z = \frac{\text{Pb} \times \text{Zn} \times \text{Ag}}{\text{Cu} \times \text{Co} \times \text{Mo}}$$

в вертикальном разрезе Золотушинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). Таким образом, преобладание в выявленных АГХП концентраций элементов тыловых зон свидетельствует об эродированности месторождения и, наоборот, преобладание элементов фронтальных зон — о сохранности прогнозируемого месторождения.

Одна из главных задач прогнозно-поисковых работ — оценка прогнозных ресурсов месторождений. Это особенно важно на ранних стадиях геологоразведочных работ, когда рудные тела еще не вскрыты. К настоящему времени применяется несколько методов (анalogии, экспертных оценок и др.), однако, несомненно, более надежна оценка ресурсного потенциала или прогнозных ресурсов низких категорий по параметрам первичных, вторичных ореолов и потоков рассеяния [8].

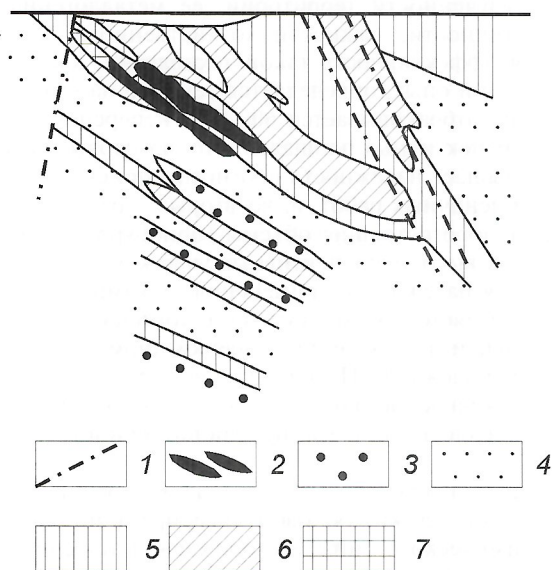


Рис. 1. Распределение коэффициента зональности в вертикальном разрезе ореола Золотушинского колчеданно-полиметаллического месторождения:

1 — разломы; 2 — рудные тела;  $K_z$ : 3 —  $10^4-10^2$ , 4 —  $10^2-10^0$ , 5 —  $10^0-10^2$ , 6 —  $10^2-10^4$ , 7 — более  $10^4$

Все эти методы так или иначе основаны на использовании установленной зависимости [7] между содержаниями

рудообразующих химических элементов в ореолах, их размеров и продуктивностей с запасами месторождений (рис. 2, 3).

На рис. 2 видно, что наиболее четко зависимость между параметрами ореолов и рудных тел прослеживается для средних по запасам месторождений. На рис. 3 видна достаточно четко выраженная экспоненциальная зависимость между площадью  $S_{op}$  надрудного суммарного ореола меди, свинца и цинка и запасами суммы этих металлов в рудных телах колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Закономерны отклонения от экспоненты, выявленные для скрытых месторождений (точки 3 и 4).

Конечно, в ряду первичный ореол—вторичный ореол—поток рассеяния—атмо-, биогеохимические ореолы в результате миграции потоков вещества происходят их дифференциация и трансформация составов, соотношений, интенсивности и т.д. Однако процессы преобразования потоков химических элементов могут привести только к ослаблению АГХП, отсутствию в них ряда элементов, но не к появлению каких-либо новых химических элементов. Это значит, что с гораздо большей осторожностью необходимо подходить к отрицательным оценкам геохимических аномалий, чем к положительным, хотя и в последнем случае нельзя допускать скоропалительных выводов.

Во второй половине XX в. геохимические методы имели большое значение при открытии нескольких десятков месторождений как в Российской Федерации, так и за рубежом. Значительна роль геохимических данных при решении геологических задач [8]. Специальное геохимическое опробование геологических образований, аналитические исследования широкого комплекса лито-, сидеро- и халькофильных элементов, а не только породообразующих, изучение распределения содержаний химических элементов и их ассоциации (как избыточных, так и дефицитных по сравнению с кларками) в петрохимических типах коренных горных пород, их геологических комплексах, отображение на картах их геохимической специализации позволяют решать следующие задачи:

выделение геохимических типов геологических комплексов (ГК), подкомплексов (ГПК);

выделение по геохимическим критериям потенциально рудоносных ГК (ГПК);

оценка региональных фонов петрохимических типов пород;

решение вопросов расчленения и корреляции геологических образований, их типизации;

типизация палеогеодинамических обстановок;

анализ закономерностей распределения в пространстве и во времени геохимической специализации ГК (ГПК) структурно-формационных зон и подзон и на этой основе составление схемы геохимического районирования территории.

С начала 80-х годов XX в. с разработок Э.К.Буренкова и Ю.Е.Саета возникло и успешно развивается **эколого-геохимическое направление** [2]. Исследования, проведенные на территориях городских агломераций, горно-рудных, других урбанизированных территориях, убедительно показали, что применение геохимических методов позволяет выявлять по депонирующим компонентам (почвы, донные отложения,



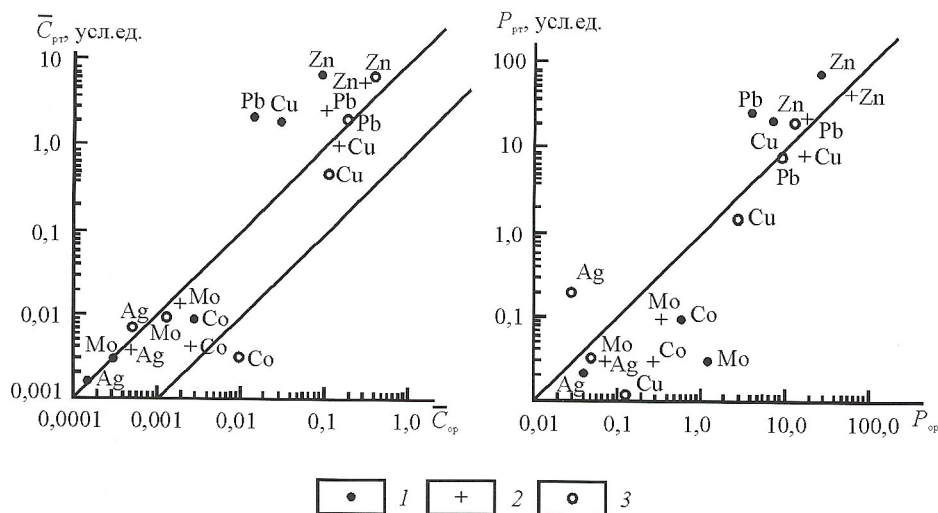


Рис. 2. Зависимость средних содержаний  $\bar{C}$  и площадных продуктивностей  $P$  металлов в ореолах от  $C$  и  $P$  металлов в рудных телах крупного (1), среднего (2) и мелкого (3) месторождений

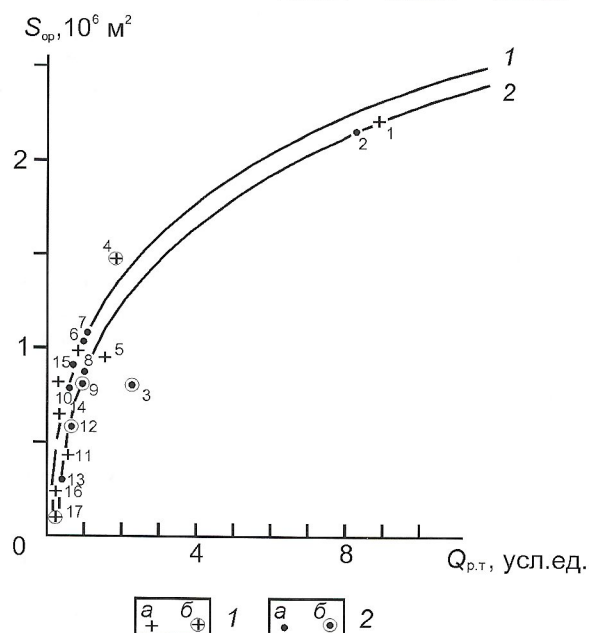


Рис. 3. Зависимость между запасами металлов в месторождениях  $Q_{рт}$  и площадью надрудных ореолов  $S_{ор}$ :

месторождения (а — эродированные, б — скрытые) в структурах: 1 — крутопадающих, 2 — пологопадающих

снеговой покров, растения) загрязнение окружающей среды токсичными химическими элементами и соединениями, оценивать степень экологической опасности такого загрязнения, устанавливать его источники и обосновывать комплексы природоохранных мероприятий. Вместе с тем, эколого-геохимическое состояние любой территории определяется не только ее техногенным загрязнением или природными аномально высокими концентрациями токсичных химических элементов, вызванными наличием рудных месторождений, но и уровнем регионального геохимического фона конкретной территории. Если первая часть проблемы достаточно детально исследована, то второй — экологической роли регионального геохимического фона — уделяется очень мало внимания.

Установленная связь между повышенными содержаниями определенных химических элементов в окружающей среде территорий и заболеваниями людей и животных позволила А.П.Виноградову выдвинуть биогеохимическую гипотезу формирования очагов заболевания и ввести понятия биогеохимической провинции и биогеохимической эндемии [3]. Исследования Биогеохимической лаборатории, которой многие годы руководил А.П.Виноградов, а в

последующие годы В.Ковальский [5], показали, что даже при сравнительно небольших уровнях накопления элементов (в 2—3 раза выше кларковых) наблюдаются серьезные заболевания людей, животных и растений. Классический пример эндемического заболевания, объясняемого геохимическими особенностями окружающей среды, — болезнь Кашина—Бека (уровская). Причиной заболевания считаются фосфорно-марганцевая и стронциевая интоксикации. Фосфор и марганец содержатся в ландшафтах эндемических территорий в повышенных концентрациях.

Современная методика комплексного геохимического картирования [8] позволяет на объективной количественной основе выявлять и оконтуривать потенциально опасные в экологическом отношении территории различного иерархического уровня: провинции и зоны. Первый опыт таких работ был осуществлен при составлении карты геохимической специализации структурно-формационных комплексов России [4].

Данные геохимических работ позволяют ввести понятие о геохимической эндемичности территорий, которая определяется нарушением равновесного состава и соотношения химических элементов (ХЭ), свойственных определенной территории, по сравнению с нормой, за которую логично принять кларк земной коры. Естественно, геохимическая эндемичность может определяться как отклонение региональных фонов (ферсмов) конкретной территории по сравнению с кларками этих ХЭ: кларки концентраций (Кк) 1,5 будут указывать на избыточный уровень концентраций ХЭ, а Кк 0,7 — на дефицитный уровень. Следует отметить, что наиболее значительно проявлено и наименее изучено синергетическое воздействие ассоциации химических элементов, более того — сочетание повышенных содержаний одних элементов с пониженными по сравнению с кларками содержаний других элементов в этих ассоциациях (таблица).

Применение геохимических методов для агрогеохимических исследований позволяет одновременно проводить оценку потенциала плодородия сельскохозяйственных почв, оценку их фитотоксичности, комплексную оценку качества этих почв и почвенно-геохимическое районирование изучаемых площадей [1]. Эти данные, как показал опыт работы в различных районах (Центральная Россия, Алтай, Бурятия, Приморье), могут успешно использоваться при разработке рекомендаций по поддержанию уровня плодородия почв и уменьшению негативных последствий антропогенного воздействия.

Геохимические методы пока еще в редких случаях применяются и для решения археологических задач, таких как поиски утопленных Наполеоном награбленных российских сокровищ (Ю.Е.Сает и др.), установление по петро-



**Геохимический синергизм воздействия внепороговых концентраций ассоциаций химических элементов (ХЭ) на биос**

| Ассоциации над- [+] и подпороговых [-] концентраций химических элементов | Возможные реакции биоса                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [+]<br>Sr<br>[-]<br>Ca                                                   | Нарушение роста и формирования костей и суставных хрящей, урсовая болезнь — симметричный деформирующий остеохондроз |
| [+]<br>Mo+SO <sub>4</sub><br>[-]<br>Cu                                   | Эндемическая атаксия                                                                                                |
| [+]<br>Mo+B<br>[-]<br>CuCo                                               | Эндемические гастроэнтериты, пневмония ягнят, эндемическая атаксия                                                  |
| [+]<br>Ni+Mg+Sr<br>[-]<br>Co+Mn                                          | Эндемическая остеодистрофия                                                                                         |
| [+]<br>Mn<br>[-]<br>I+Co+Mo                                              | Эндемический зоб                                                                                                    |
| [+]<br>Pb<br>[-]<br>Cu+Mo+Ag                                             | Энзоотические анаксии ягнят                                                                                         |

химическому составу балласта затонувших финикийских судов портов их приписки и путей передвижения (А.Е.Шимрон и др., Израиль), использование изотопного состава свинца для установления источников поставки металла, украшений и косметики для двора 18-й династии фараонов Нового царства Египта (А.Е. Гореся и др., Германия). Перечисление примеров использования геохимических методов в решении археологических задач так же, как задач других направлений исследований, можно продолжить.

Значительным достижением прикладной геохимии последнего десятилетия XX в. стала разработка пионерской, не имеющей мировых аналогов технологии многоцелевого геохимического картирования (МГХК), на основе которой возможно решение значительного числа задач [8]:

осуществить количественную прогнозную оценку минерально-сырьевого потенциала территорий на цветные, редкие, благородные металлы, алмазы и нефть;

повысить объективность и прогностические свойства геологических карт нового поколения;

обосновать рациональный комплекс методов при проектировании геологоразведочных работ;

оценить потенциальную геохимическую эндемичность регионов;

оценить загрязнение окружающей среды токсичными химическими элементами и соединениями с выделением экологически неблагоприятных площадей;

дать комплексную оценку качества сельскохозяйственных земель;

создать картографические основы комплексных кадастров природных ресурсов с количественной оценкой их стоимости;

обосновать рекомендации по рациональному природопользованию, нацеленные на реализацию концепции устойчивого развития страны.

Технология МГХК базируется на подходе к изучению природной среды как единой геоэкосистемы. Исходя из

этого, формальное опробование одного какого-либо компонента геологической среды по регулярной геометрической сети заменяется в МГХК детерминированным опробованием разрезов (донные отложения—почвы—коренные породы) по квазиоднородным участкам, выделенным на основе многофакторного районирования территории. Новизну и передовые позиции рассматриваемой технологии определяет также использование современных аналитических методов, ГИС-технологий, современных методов системного анализа. При этом технология МГХК отличается дешевизной, т.к. в одном технологическом процессе решается широкий комплекс хозяйственных, природоохранных и научных задач.

Технология МГХК-1000 апробирована на шести полигонах — Кольский, Московский, Алтайский, Байкальский, Восточно-Забайкальский и Приморский. Внедрение этой технологии проводится в Карело-Кольском, Средне-Уральском, Северо-Кавказском, Тюменском, Байкальском, Бурятском и Камчатском регионах.

Вышеперечисленные достижения прикладной геохимии вовсе не свидетельствуют об отсутствии многих нерешенных задач. Можно привести много примеров ошибочных геохимических прогнозов. Их анализ показывает, что причинами ошибочных прогнозных оценок служат:

отсутствие увязки геохимических оценок с геологическими и геофизическими данными;

отсутствие учета ландшафтно-геохимических условий локализации АГХП;

гипертрофированное субъективное внимание какому-то одному геохимическому показателю или критерию при игнорировании или неучете всего комплекса критериев;

недостаточное внимание разработке новых методов выявления, интерпретации и оценки АГХП, в т.ч. оценки прогнозных ресурсов;

отсутствие новых идей, взглядов, теорий рудо-, ореолообразования;

низкое качество аналитических определений;

отсутствие или незначительный объем контрольно-заверочных работ;

низкий уровень подготовки специалистов, выполняющих работы.

Можно привести также ряд примеров, когда к перспективным относят площади, где по геохимическим данным выявлены только геохимические аномалии основного рудообразующего элемента. Если при этом не обращать внимание на наличие или отсутствие элементов-индикаторов, то невозможно, во-первых, определить минерально-геохимический тип прогнозируемого оруденения, а во-вторых, оценить степень его эродированности.

Таким образом, современный подход к интерпретации и оценке АГХП требует выявления и изучения их полной структуры, которая включает не только положительные аномалии — зоны накопления тех или иных элементов, но и зоны дефицита, нижефоновых содержаний, зоны выноса, закономеренно генетически связанные с зонами накопления. Без исследования полной структуры АГХП их прогнозная оценка на ранних стадиях геологоразведочных работ часто затруднительна.

Следует подчеркнуть вместе с тем, что если для горно-складчатых регионов и металлогенических единиц рангов месторождения—рудное поле методы и критерии выявления, интерпретации и оценки АГХП достаточно разработаны и апробированы, то, во-первых, для территорий платформ, а во-вторых, для металлогенических единиц низкого ранга эти задачи стоят достаточно остро.

Нам представляется, что при работах в условиях платформ и других закрытых территорий необходимо развитие следующих методов:



ионометрические, значительно повышающие глубину геохимических работ на перекрытых площадях;

атмогеохимические (по различным формам ртути, легко летучим газам, углеводородам и др.), позволяющие выявить месторождение и рудоконтролирующие структуры на значительных глубинах;

минералого-геохимические, кристаллохимические, повышающие точность интерпретации геолого-промышленного типа прогнозируемого месторождения, оценку степени его перспективности и прогнозных ресурсов на ранних стадиях работ;

дистанционные (АГСМ, спектрозональные аэро-космосъемки и др.), развитие и применение которых, по-видимому, в обозримом будущем заменят наземные геолого-и эколого-геохимические работы обзорного и мелкого масштабов.

Необходимо также подчеркнуть, что развитие новых геохимических методов выявления, интерпретации и оценки АГХП невозможно без создания их новых критериальных моделей для объектов различного иерархического уровня и разных геолого-промышленных типов месторождений, да еще с учетом возможных преобразований, деформаций рудообразующих систем и трансформаций потоков вещества в пострудное время под воздействием эндогенных и экзогенных факторов. Отсюда ясно, что без пересмотра известной и разработки новой теоретических баз рудо-ореолообразования обойтись нельзя.

С сожалением приходится однако констатировать, что теоретическая и методическая базы прикладной геохимии, а также апробация и внедрение новых методов и технологий в последние годы не получили должного развития по ряду причин как объективного, так и субъективного характера. Особое значение аналитической базы геохимических методов определяется тем, что все геохимические построения и выводы базируются именно на результатах аналитических определений. Низкое качество аналитических определений выражается, прежде всего, их малой чувствительностью, т.е. недостаточным нижним пределом оцениваемых содержаний химических элементов. Низкая чувствительность определения таких элементов, как мышьяк, серебро, сурьма, висмут при отсутствии анализов на золото не позволили своевременно выявить и оценить перспективны Северо-Алтайского золотоносного пояса, который может стать одной из ведущих золотоносных провинций России. Без современных аналитических методов и аппаратуры невозможно развитие теоретической базы ореолообразования, разработка критериальных моделей разноуровневых ореолов различных геолого-промышленных типов месторождений и, таким образом, совершенствование критериев интерпретации и оценки АГХП.

Не менее важны точность (правильность) и воспроизводимость получаемых оценок содержаний химических элементов. Без этого невозможны ни оценка геохимической специализации геологических образований, ни оценка потенциальной геохимической эндемичности территорий, т.к. они базируются на правильной оценке региональных геохимических фонов. Важную роль играет правильность аналитических определений при выявлении АГХП, отображении структуры его зональности, пространственного распределения зон накопления и дефицита элементов-индикаторов, при расчете количественных показателей, на которых основаны выявление АГХП, интерпретация минерально-геохимического типа прогнозируемого оруденения, оценка степени перспективности и прогнозных ресурсов.

Отсюда ясны и требования к аналитическим методам. Они должны, во-первых, быть высокочувствительными, т.е. обеспечивать получение значимых содержаний химических элементов на порядок ниже их кларков; во-вторых, это должны быть инструментальные многокомпонентные методы

анализа, позволяющие получить данные не только по рудообразующим элементам и элементам-спутникам, но и породообразующим химическим элементам; в-третьих, аналитические определения должны отвечать метрологическим требованиям правильности и воспроизводимости.

Следующая причина кажущейся низкой эффективности геохимических поисков состоит в практическом отсутствии контрольно-заверочных работ. Это характерно не только для региональных работ мелкого и среднего масштабов, но и общих поисков. В настоящее время по территории России накоплены в различных отчетных таблицах, каталогах и кадастрах десятки тысяч геохимических аномалий, которые авторами отнесены к числу перспективных, но так и не были заверены. Конечно, не все из этого огромного числа внесенных в кадастры геохимических аномалий действительно можно отнести к категории перспективных.

Положительные примеры применения геохимических методов имеются в некоторых зарубежных странах, где геохимическим работам уделяется серьезное внимание и проводится целенаправленная детализация и заверка выявляемых АГХП. Так, в Китае за 10 лет, предшествующих проведению геохимических работ, были различными методами выявлены 86 крупных и средних месторождений. За 1990—1995 гг. в результате проведения региональных работ масштаба 1:1 000 000—1:200 000 и последующей проверки выявленных АГХП и поисков на выделенных перспективных площадях были установлены 579 месторождений, в т.ч. 54 крупных и 165 средних. Следует отметить, что геологическая служба Китая использует методические разработки России в области прикладной геохимии и повышает их эффективность, применяя не только прецизионные аналитические методы, но и весь комплекс работ на выделяемых перспективных площадях, используя при этом разработанный в России принцип их последовательной локализации.

Хочется выразить уверенность, что в комплексе геологоразведочных работ, способных возродить МСБ России и обеспечить ее безопасность, существенную роль могут сыграть геохимические методы поисков, в основе которых лежат прямые поисковые признаки месторождений полезных ископаемых. Геохимические методы поисков наименее затратны по сравнению с другими известными методами, и в отличие от них результаты и выводы поисковых работ базируются на объективных данных аналитических работ. Комплексное использование геохимических работ с геологическими и геофизическими методами и данными дистанционного зондирования — залог высокой эффективности прогнозно-поисковых работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ачкасов А.И. Комплексная оценка качества сельскохозяйственных почв на основе агрогеохимического картирования // Прикладная геохимия. Вып. 1. Геохимическое картирование. М., 2000. С. 144—160.
2. Буренков Э.К., Саен Ю.Е. Проблемы ноосферы и эколого-геохимические исследования // Советская геология. 1988. № 4. С. 24—32.
3. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР. 1938. Т. 18. № 4/5. С. 283—286.
4. Карта геохимической специализации структурно-формационных комплексов России. Масштаб 1:5 000 000. Объяснительная записка / В.С.Певзнер, В.А.Максимовский, Ю.Н.Ермаков. — М.: ИМГРЭ, 1997.
5. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. 21-е чтение им. В.И.Вернадского. — М.: Наука, 1982.
6. Кременецкий А.А., Буренков Э.К., Головин А.А. Разномасштабные геохимические прогнозно-поисковые работы: принципы и технология // Разведка и охрана недр. 2002. № 5. С. 2—11.
7. Овчинников Л.Н., Головин А.А., Рыфтин В.М. Первичные геохимические ореолы колчеданных месторождений и их поисковое значение. — М.: Недра, 1986.
8. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования м-ба 1:200 000 / А.А.Головин, Н.Н.Москаленко, А.И.Ачкасов и др. — М.: ИМГРЭ, 2002.



## Семь десятилетий аэрокосмических методов геологических исследований России

А.В.ПЕРЦОВ, В.С.АНТИПОВ, Г.В.ГАЛЬПЕРОВ (ГУП «НИИКАМ»)

Аэрокосмические методы геологических исследований на протяжении 70 лет постоянно освещались в ведущем и старейшем геологическом журнале нашей страны «Отечественная геология». Редакционная коллегия журнала уделяла внимание теоретическим и методическим аспектам развития аэро- и космических методов геологических исследований, а также результатам их применения в практике геологоразведочных работ.

В России первые опыты по воздушному фотографированию были проведены в 1886 г. начальником воздухоплавательной команды А.М.Кованько в районе Санкт-Петербурга и крепости Кронштадт с воздушного шара, свободно летавшего на высоте 600—1000 м. Были получены удачные фотоснимки Петропавловской и Кронштадтской крепостей, стрелки Васильевского острова, которые давали полезную информацию о снятой местности. Первым годом возникновения гражданской аэросъемки в СССР считается 1925 г., когда акционерным обществом «Добролет» были начаты планомерные аэросъемки в природоресурсных целях (съемки лесных и сельскохозяйственных угодий, железнодорожные изыскания).

В 1929 г. в Ленинграде создан научно-исследовательский институт аэросъемки, директором которого стал академик А.Е.Ферсман. Именно по его инициативе в 1929—1935 гг. были проведены обширные исследования по изучению природных ресурсов методами аэросъемки, включая решение ряда геологических задач. Опыт этих исследований был обобщен А.В.Гавеманом в 1937 г.

В середине 40-х годов были образованы Лаборатория аэрометодов АН СССР (ныне ГУП «НИИКАМ») и Аэрофотогеологическая экспедиция (ныне ФГУНПП «Аэрогеология»), которые и стали пионерами развития аэрокосмических методов геологических исследований в нашей стране.

Лаборатория аэрометодов (ЛАЭМ) создана на базе Постоянной комиссии по применению аэросъемок АН СССР, председателем которой был академик А.Е.Ферсман, и группы маскировки Комиссии по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии. Первым директором ЛАЭМ был академик П.И.Степанов, первоначальный штат сотрудников 12 человек. Опыт применения аэрометодов в области геологии был обобщен В.П.Мирошниченко в монографии «Аэрогеосъемка», подготовленной к изданию в 1941 г. и опубликованной в 1946 г. в связи с блокадой Ленинграда. Эта монография представляет собой первый в стране опыт систематического изложения методики геологического дешифрирования аэроснимков.

С 1947 по 1962 г. ЛАЭМ возглавлял член-корреспондент АН СССР Н.Г.Келль, и именно под его руководством Лаборатория аэрометодов превратилась в ведущую научную организацию страны в области развития методов аэросъемки для изучения природных ресурсов. В этот период были заложены основы научных школ по применению аэрометодов для изучения дна морских мелководий (В.В.Шарков), природных ландшафтов (В.П.Мирошниченко), неотектонических процессов (С.С.Шульц), почв, четвертичной геологии, переформирования берегов водохранилищ (Н.Н.Соколов), а также в области научной фотографии (К.С.Ляликов). Именно в это время сотрудники ЛАЭМ разработали оригинальные методики использования различных материалов аэрофотосъемки для изучения геологического строения дна морских мелководий (В.В.Шарков, З.И.Гурьева), действующих вулканов (Е.А.Святловский), поиска грунтовых вод (Г.Я.Мейер, К.Е.Нефедов, Т.А.Попова, Е.С.Арцыбашев), поисков коренных месторождений алмазов (В.М.Барыгин, Н.В.Ко-

бец, В.Б.Комаров), прогнозирования нефтегазоперспективных структур на акваториях (В.П.Мирошниченко, В.В.Шарков, Н.В.Кобец), изучения регионального геологического строения и геологического картографирования (В.М.Будько, Н.В.Кобец). Разрабатывались методика самолетовождения при аэрофотосъемочных работах (С.В.Белов, О.А.Юрковский, В.П.Алексеев-Шемакин, Н.В.Мишурицкий), аппаратура и методика изучения спектральных характеристик природных объектов. Исследовались вопросы комплексного применения аэрогеофизики и аэрофотосъемки для геологического картирования (Н.Д.Палицин, А.В.Доливо-Добровольский, Б.В.Шилин). Результаты такого рода исследований были обобщены в ряде монографий, сборников научных работ, методических рекомендаций и руководств, которые послужили основой для использования и развития аэрометодов во многих организациях различных отраслей народного хозяйства страны.

В 1962 г. в связи с реорганизацией Академии наук СССР Лаборатория аэрометодов была передана в состав Министерства геологии СССР, а ее директором стал ученик и сподвижник Н.Г.Келля — В.Б.Комаров. С этого времени научно-исследовательские работы ЛАЭМ направлялись на развитие методов аэрогеологических исследований, а с появлением материалов космических съемок — космоаэрогеологических исследований. Методологическая и теоретическая база использования материалов дистанционного зондирования при геологических исследованиях, основанная на ландшафтно-индикационном анализе аэрокосмической информации, была создана В.П.Мирошниченко. Результаты этих разработок применялись при изучении регионального геологического строения, геологическом картировании мелкого, среднего и крупного масштабов, прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых (руды, алмазы, нефть и газ, подземные воды) в различных ландшафтных условиях Советского Союза. Большое развитие в этот период получили исследования по изучению мелководных зон морей, результаты которых были обобщены коллективом авторов под руководством В.В.Шаркова в таких работах, как «Аэрогеологическая съемка мелководных зон Каспийского моря» и др.

В 60-х годах в Советском Союзе начаты исследования по разработке новых методов дистанционного зондирования — радиолокационной и тепловой аэросъемок, существенно расширяющих возможности дистанционного зондирования природных ресурсов. Исследования по применению материалов радиолокационной аэросъемки начаты по инициативе В.Б.Комарова. На первом этапе работы проводились с использованием материалов, полученных радиолокационной станцией бокового обзора «Торос» (разработка НПО «Ленинец» под руководством В.М.Глушкова) на Полярном Урале С.И.Стрельниковым, на Камчатке Н.А.Гусевым и Б.В.Шилиным, в Туркмении и Казахстане В.А.Старостиным и В.Г.Можаяевой. По результатам работ было составлено «Временное методическое руководство по использованию радиолокационной аэросъемки при геологических исследованиях», которое позволило геологическим организациям страны начать применение материалов радиолокационной аэросъемки в производственных работах. В порядке внедрения аэроадиолокационного метода в производственные организации геологической отрасли силами ЛАЭМ были выполнены аэросъемки на площади более 10 млн.км<sup>2</sup> по заказам более 30 организаций. На основе полученных в ходе этих опытно-методических работ результатов выполнено техническое задание на разработку радиолокационной



станции нового поколения, которая и была создана в НПО «Ленинец» (РЛСБО «Нить»).

Другим перспективным направлением стали исследования по методике аэросъемки в инфракрасном диапазоне (3–14 мкм), начатые по инициативе Н.Г.Келля и Ю.К.Юцевича. Как в нашей стране, так и за рубежом первые оптико-электронные сканирующие системы для аэросъемки в инфракрасном диапазоне создавались для военной воздушной разведки, поэтому первые экспериментальные аэросъемочные работы выполнялись именно на такого рода аппаратуре. Первоначальной геологической задачей было изучение высокотемпературных объектов — действующих вулканов и парогидротерм; работы проводились на Камчатке с макетом ИК-сканера «Тепло М» под руководством Б.В.Шилина. Были разработаны методические рекомендации по выполнению тепловой аэросъемки и интерпретации получаемых материалов при изучении районов действующих вулканов и активной гидротермальной деятельности, при решении задач гидрогеологии и инженерной геологии, гидрологии, мелиорации, исследования особенностей строения ледово-снежного покрова моря и суши, контроля состояния природной среды.

В этот же период в ЛАЭМ начались исследования в области многоспектральной аэросъемки, в ходе которых были разработаны теоретические положения изучения природных объектов по спектральным характеристикам, созданы технические средства для измерения таких характеристик, подготовлено методическое пособие по спектрофотометрическим исследованиям природных объектов (В.В.Кольцов, К.Е.Мелешко, С.Г.Слущкая).

Первые высотные аэрофотосъемки для геологических целей были выполнены в Центральном Казахстане под руководством Г.Б.Гонина и Н.А.Яковлева. Результаты геологического дешифрирования полученных материалов показали их высокую информативность при изучении геологических объектов, требующих большой обзорности.

Появление материалов космических съемок в 60-е годы и интенсивное развитие технических средств их получения вывели методы дистанционного зондирования природных ресурсов на новый информационный уровень. В 60-е годы для геологов были доступны единичные космоснимки с разрешением на местности многие сотни метров—километры. В 70-е годы появилась возможность получать такие снимки в нескольких спектральных диапазонах, а разрешение на местности улучшилось до нескольких десятков метров. В 80-е годы при съемках из космоса разрешение на местности достигло уже порядка 10 м при регистрации данных в нескольких «видимых» диапазонах, первых десятков метров при съемке в видимой, ближней, средней, дальней (тепловой) инфракрасной зонах. В 90-е годы XX в. появились методы гиперспектральной съемки с десятками каналов регистрации электромагнитного излучения, коммерческие спутниковые съемки с разрешением до первых метров при нескольких спектральных диапазонах регистрации. Не менее интенсивно развивалось направление по использованию космических радиолокационных съемок Земли, которое требовало постоянного совершенствования методологии и методики тематического использования материалов дистанционного зондирования. Учитывая важность и большое практическое значение для страны исследований по использованию космофотоснимков для решения задач геологического картирования, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых, в 70-х годах было создано первое в стране специализированное подразделение — Лаборатория космической геологии под руководством Б.Н.Можаева. В процессе выполнения этих исследований разрабатывались вопросы теории дешифрирования по материалам съемок из космоса геологических объектов, в т.ч. прогнозирования глубинных геологических структур, разработана методика использования космических снимков при структурно-геологических и геоморфологических исследованиях, геологическом картировании, обоснована эф-

фективность использования космических изображений при металлогенических исследованиях и прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Результаты этих разработок были обобщены в виде монографий, общепрофессиональных методических пособий и руководств.

Для внедрения указанных выше разработок в производство геолого-съемочных работ в 1945 г. была создана аэрофотogeологическая экспедиция, преобразованная в 1947 г. в Центральную аэрогеологическую экспедицию, а в 1949 г. — во Всесоюзный аэрогеологический трест (ВАГТ). Геологами ВАГТ при проведении государственных геологических съемок масштабов 1:1 000 000—1:200 000 в наиболее труднодоступных районах СССР была показана высокая эффективность аэрогеологических исследований. Широкое использование материалов аэросъемок позволило в кратчайшие сроки построить государственные геологические карты масштаба 1:200 000 в таких различающихся по структурно-тектоническим и природно-климатическим условиям районам, как Ферганская впадина и ее горное обрамление, пустыни Центрального Казахстана и Туркмении, Приволжская возвышенность, Тува, Якутия, Камчатка, Северо-Восток и Дальний Восток, Южный, Центральный и Северный Урал и Карелия. В процессе работ была создана школа специалистов-аэрогеологов, дистанционные методы вошли составной частью в технологии геолого-съемочных и поисковых работ, определены новые направления аэрогеологических исследований.

Выдающийся вклад в развитие и проведение геолого-съемочных работ, разработку прогрессивных методов и технологий ускоренного геологического изучения территории внесен всем коллективом ВАГТ и в первую очередь организаторами, руководителями и главными геологами экспедиций: В.А.Буханевичем, М.П.Колядой, С.В.Кнорозовым, П.А.Ренгартеном, Н.А.Преображенским, Г.Ф.Лунгерсгаузен, Е.Н.Воскресенским, Н.В.Дреновым, И.М.Петренко, В.Ф.Косовым, В.Ф.Лиховицким, В.Н.Брюхановым, Н.Я.Кузминым, Ю.Я.Кузнецовым, В.В.Прусовым, В.А.Ямновым, П.С.Плещеевым, С.Н.Голышевым, Б.Н.Красильниковым, М.Н.Петрусевичем, М.Б.Шарковским, М.З.Глуховским, В.М.Моралевым, А.Л.Ставцевым, О.Н.Юоном, Б.П.Маркевичем, Б.П.Высоцким, Б.Н.Леоновым, А.А.Розенкранцем, В.И.Башиловым, А.А.Звягельским, М.Б.Болотинным, В.А.Федоровским, Д.И.Горжевским, А.Д.Клочко, И.Ф.Пожарицким, Л.Б.Вонгазом, С.В.Потаповым и др.

Для дальнейшего совершенствования и широкого внедрения космоаэрометодов в геологические исследования в 1972 г. на базе ведущих организаций отрасли, производственной ВАГТ и научно-исследовательской Лаборатории аэрометодов было создано Всесоюзное научно-производственное объединение «Аэрогеология» (ВНПО «Аэрогеология»), вскоре преобразованное в Производственное геологическое объединение по региональному изучению геологического строения территории страны (ПГО «Аэрогеология»). Производственные подразделения объединения «Аэрогеология» продолжали геолого-съемочные работы и геологическое картирование в мелких и средних масштабах в Западном Казахстане и Северном Прикаспии, Западной Туркмении, Восточной Сибири, на Северо-Востоке страны, Камчатке, севере европейской части России. Существенный вклад в обеспечение работ предприятия «Аэрогеология» в 80—90-х годах внесли В.Н.Брюханов, Б.Н.Можаев, В.М.Моралев, В.В.Козлов, И.М.Петренко, С.М.Калимулин, В.С.Коген, Е.Г.Фаррахов, В.А.Фараджев, Г.В.Махин, В.Е.Гендлер, В.А.Буш, В.М.Воевода, А.К.Уфлянд, Ю.Н.Петров, В.Д.Николаев, В.В.Масленников, А.С.Рейтлингер, А.А.Розенкранц, И.С.Плещеев, Н.И.Сычкин, Л.Ф.Волчегурский, В.К.Маилянц, А.Л.Ставцев, Р.П.Котелков, А.Ф.Карпузов, Л.М.Натапов, А.А.Егоров, И.М. Битерман и др.

В научном филиале этого объединения — Лаборатории аэрометодов проводились исследовательские работы по



развитию теории и методологии аэрометодов геологических исследований, созданию методики использования материалов съемок при решении разнообразных геологических задач. Наиболее полно теоретические и методические вопросы использования материалов аэросъемок в геологии были обобщены в первой в стране коллективной работе сотрудников ЛАЭМ под общей редакцией А.И.Виноградовой, состоящей из двух томов: «Физические основы и технические средства аэрометодов» (1967) и «Аэрометоды геологических исследований» (1971). Вопросы использования материалов космических съемок несколько позднее были обобщены специалистами ЛАЭМ в монографии «Космофотосъемка и геологические исследования» (1975) под редакцией Г.Б.Гониной и С.И.Стрельникова. Опыт использования материалов радиолокационной аэросъемки обобщен В.Г.Можаевой в работе «Изучение рельефа по материалам радиолокационной аэросъемки». В 1979 г. в работе «Аэрометоды геологического изучения районов двухъярусного строения» коллективом специалистов ЛАЭМ (Г.В.Гальперов, А.В.Перцов, Н.А.Брусничкина) были изложены результаты исследований по разработке методики использования материалов аэросъемки при глубинном геологическом картировании и прогнозировании месторождений полезных ископаемых. В 1986 г. по инициативе Министерства геологии СССР решением Правительства ЛАЭМ была преобразована во Всесоюзный научно-исследовательский институт космоаэрогеологических методов (ВНИИКАМ) во главе с А.В.Перцовым.

В 80-е годы основными направлениями совершенствования методов дистанционного зондирования Земли стали:

- разработка теории, методики и технологий использования материалов аэро- и космических съемок при геологических исследованиях, изучении состояния природной среды и динамики ее изменения;

- создание и совершенствование технических средств и методов получения аэрокосмической информации;

- создание и совершенствование технических средств, математического обеспечения, методики и технологических процессов обработки материалов различных видов аэро- и космических съемок, в первую очередь, путем создания автоматизированных систем на базе различных ЭВМ для решения геологических задач;

- разработка различных видов космоаэрогеологических исследований, основанных на комплексном использовании материалов дистанционного зондирования Земли.

Коллектив специалистов ВНИИКАМ под руководством Б.Н.Можаева и Н.Ф.Афанасьева разработал метод геоиндикационного моделирования как основу геологического дешифрирования материалов аэро- и космических съемок в различных ландшафтных и геологических условиях. Применение метода геоиндикационного моделирования предполагает автоматизированную обработку данных в силу значительных объемов используемой информации. Опыт работ в данном направлении был обобщен в ряде методических руководств и монографии «Геоиндикационное моделирование» (под редакцией Б.Н.Можаева, Н.Ф.Афанасьева, 1984).

Методика применения материалов аэро- и космических съемок при изучении новейшей тектоники и прогнозировании нефтегазоперспективных структур в различных природных условиях — традиционная тематика ВНИИКАМ. Она послужила составной частью ряда специализированных руководств и изложена в нескольких работах: «Ландшафтный метод дешифрирования проявлений новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазоносных структур» (В.П.Мирошниченко), «Применение материалов аэрокосмических съемок при изучении новейшей тектоники Юго-Западной Туркмении» (Б.Н.Можаев, В.Г.Можаева, А.А.Кирсанов, 1988) и др.

Дальнейшее развитие получили исследования по совершенствованию аэрокосмических методов изучения шель-

фа, проводимые В.В.Шарковым, З.И.Гурьевой, Е.И.Кильдюшевским. Значительный опыт исследований в Охотском, Каспийском, Черном, Белом и Баренцевом морях по разработке методов использования материалов аэро- (фотографической, радиолокационной и тепловой) и космических (фото-, многоспектральных сканерных и др.) съемок был обобщен в атласе аннотированных аэрофото-снимков «Аэрофотометоды геолого-геоморфологических исследований внутреннего шельфа и берегов морей» (1976) и монографии «Аэрокосмические методы геологического изучения шельфа» (1985).

Развитие методов дистанционного зондирования при тектономагматических и прогнозно-металлогенических исследованиях в этот период потребовало решения задачи перехода от анализа закономерностей размещения отдельных объектов к перспективной оценке территорий, прогнозу и поиску новых видов сырья на базе комплексирования данных дистанционного зондирования с материалами геологических и геофизических съемок. Такая задача решалась во ВНИИКАМ группой специалистов под руководством Г.В.Гальперова, И.К.Рундквист, В.С.Антипова, в Аэрогеологии — под руководством А.Л.Ставцева. Методика исследований с поэтапным дешифрированием материалов аэро- и космических съемок, комплексированием на каждом уровне генерализации с данными геолого-геофизических и других видов специализированных работ соответствующего масштаба была разработана и апробирована на примере Кызылкумского региона Урало-Монгольского подвижного пояса (Г.В.Гальперов, А.В.Перцов и др.), Оймяконо-Колымского (Г.В.Гальперов, И.К.Рундквист, В.С.Антипов), Станового (М.З.Глуховский, В.С.Коген), Охотского (В.Б.Агентов, А.Л.Ставцев, А.С.Рейтлингер) регионов Тихоокеанского подвижного пояса, Кавказско-Таврского региона Средиземноморского подвижного пояса (В.З.Сахатов), Прикаспия (А.И.Анцыфоров, М.В.Чехович). Одна из составных частей этой методики — технологическая схема построения прогнозно-поисковых моделей (ППМ) как части прогнозно-поискового комплекса на примере металлогенических таксонов, включающих крупнейшие месторождения на трех уровнях генерализации. Результаты этих работ были обобщены в монографии «Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе применения материалов аэро- и космических съемок» (1988) и серии методических руководств.

Н.В.Скублова, М.А.Белобородов, Е.П.Вострокнутов, А.Н.Бугаец, Ю.Н.Спомиор, Л.М.Натапов развивают методы комплексного использования аэрокосмической информации и применения автоматизированных способов ее обработки на средствах вычислительной техники в прогнозно-металлогенических исследованиях. Данное направление широко применяется в практике производственных организаций.

В эти годы во ВНИИКАМ разработаны тепловизор «Малахит», многоспектральные системы ИК-диапазона «Яшма» и «Везувий», методические рекомендации по применению тепловой аэросъемки в гидрогеологии и инженерной геологии (Г.С.Выприцкий, Б.В.Шилин). Вышла монография Б.В.Шилина «Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов» (1980), обобщающая состояние вопроса в области физических основ, технических средств и методов применения тепловой аэросъемки при решении географических, геологических и геофизических задач. Продолжаются работы по развитию радиолокационного метода, в ходе которых создается методика выполнения аэросъемки системами бокового обзора для решения задач изучения природных ресурсов (О.А.Юрковский, В.Л.Щербаков), изучается геометрия радиолокационного изображения, создается методика трансформирования РЛ-снимков на ЭВМ в заданную геометрическую проекцию (А.Н.Рогов). В работе «Применение радиолокационной аэросъемки при геолого-географических исследованиях» (под редакцией В.М.Глушкова и В.Б.Комарова,



1981) обобщен опыт проведения исследований и сформулированы направления дальнейшего развития метода. Продолжаются работы по внедрению метода радиолокационного зондирования в практику геолого-съёмочных и прогнозно-поисковых работ как в нашей стране, так и за рубежом. Сотрудниками ВНИИКАМ была выполнена радиолокационная аэросъёмка 40% площади СССР, территорий Чехословакии, Польши, Болгарии, ГДР, проведено геологическое дешифрирование полученных материалов на тестовых участках, выполнены полевые заверочные работы, составлены и переданы методические рекомендации по дальнейшему использованию радиолокационных снимков при решении геологических задач (В.Л.Щербakov, Е.И.Марков, Г.В.Гальперов, А.А.Кирсанов).

С 1995 г. начаты работы по созданию дистанционных основ (ДО) Гостеолкарт как одного из обязательных, наряду с исходными картографическими, геохимическими и геофизическими данными, компонентов составления Государственных геологических карт нового поколения. Технология работ, нормативно-методическая документация и основной объем ДО для нужд геологической службы создаются в НИИКАМ (А.В.Перцов, В.И.Захаров, В.С.Антипов, С.И.Стрельников). К настоящему времени созданы «Космический образ России масштаба 1:2 500 000» (см. рисунок, цветная вставка), дистанционная основа континентальной части территории России масштаба 1:1 000 000 (168 комплектов) и более 200 комплектов дистанционной основы масштаба 1:200 000, которые используются для составления прогнозных моделей ряда минералогических объектов.

Возрождается интерес к радиолокационной аэросъёмке. Создана новейшая аппаратура ИМАРК в ФГУП «МНИИП» (Москва), позволяющая проводить съёмку одновременно в четырех диапазонах длин волн (в сантиметровом, двух дециметровых и метровом). Данный вид съёмки позволяет получать информацию как о поверхностных, так и погребённых объектах. Способ подповерхностного картирования разработан и запатентован во ВНИИКАМ и НИИП (В.А.Старостин, Э.А.Востров, 1993). Новейшие теоретические, методологические разработки, методики и технологии использования материалов дистанционного зондирования Земли в геологии отражены в коллективной монографии сотрудников НИИКАМ «Аэрокосмические методы геологических исследований» (главный редактор А.В.Перцов, 2000), которая служит в России наиболее полным и комплексным научным обобщением по данной проблематике.

В дальнейшем для удовлетворения задач геологического производства требуется переход к моделированию геологических и минералогических объектов, а также созданию геоинформационных экспертных систем ГИЭС с использованием космических снимков. Состоят ГИЭС из многослойного пакета разнородной геолого-геофизической и дистанционной информации, структурированной в виде пространственно распределённых количественных характеристик и ранжированной системы моделей, связывающих эти характеристики со свойствами объектов. Такой переход требует переосмысления принципов геологического картографирования с ориентацией на формализацию этого процесса и более широкое использование пространственной равномерно распределённой информации, такой как результаты дистанционных, геохимических и геофизических съёмки. Наиболее полно данная идеология реализуется при создании Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (третье издание).

Учитывая прогнозируемые широкие возможности применения космоаэрогеологических исследований для решения стоящих перед Геологической службой России задач, представляется необходимым обозначить несколько ключевых направлений:

создание многоуровневой дистанционной основы информации аналитической системы «Геология и металлогения России»;

построение геодинамических схем и схем блокового строения земной коры, включающих данные о палео- и современных движениях коры на основе использования материалов дистанционных съёмок в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитных волн;

построение схем поверхностей горизонтов различных уровней земной коры на основе корреляции данных дистанционного зондирования с опорными геолого-геофизическими данными;

составление карт прогноза на основе использования «дистанционных» моделей рудных и нефтегазоносных объектов, включающих характеристики, измеренные дистанционными датчиками видимого, инфракрасного и радиоволнового диапазонов.

Анализ современного состояния систем дистанционного зондирования и тенденций их развития позволяют также сформулировать перечень актуальных задач и перспективных направлений, касающихся получения данных дистанционного зондирования в целом:

оптимизация взаимосвязи между параметрами технических средств получения данных ДЗ и информационным содержанием получаемых данных применительно к соответствующим классам решаемых задач;

повышение разрешающей способности систем дистанционного зондирования;

совершенствование программно-аппаратных комплексов предварительной обработки данных в процессе съёмки;

увеличение пропускной способности линий передачи данных на наземные пункты приема;

создание и оптимизация распределённой сети банков (библиотек) данных ДЗ с системой обеспечения пользователей разного уровня через Интернет.

Учитывая принципиальные особенности ДЗ в радиоволновом диапазоне, а также их преимущества при решении большого числа природоресурсных задач, специальное внимание должно быть обращено на создание и введение в эксплуатацию современных съёмочных радиолокационных станций (систем). При этом можно сформулировать некоторые требования к ним:

радиолокационные станции должны быть многочастотными (сантиметровый, дециметровый и метровый диапазоны);

на всех частотах должна быть обеспечена работа в различных режимах поляризации;

на всех частотах должны быть обеспечены режимы работы с различным пространственным разрешением в диапазоне от регионального до локального УГ;

радиолокационные станции должны быть измерительными, что обеспечивается записью калиброванного высокостабильного внешнего сигнала;

необходимо обеспечение высокой точности измерения параметров орбит платформ, несущих радиолокационные станции, для обеспечения решения задач дифференциальной интерферометрии.

Не менее важным направлением остаются разработка и использование гиперспектральных систем дистанционного зондирования, устанавливаемых на авиа- и космических носителях и содержащих десятки и сотни каналов получения информации в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитных волн. Новые разработки в дистанционном зондировании Земли позволяют с высокой эффективностью решать не только задачи, связанные с выявлением металлогенетически значимых линейных, кольцевых структур и их систем, но и будут использоваться в процессе поисковых работ для локализации специализированных структурно-вещественных комплексов, гидротермально изменённых пород, рудоперспективных участков.



## Ключевые проблемы полярной и морской геологии на пороге XXI века

В.Л.ИВАНОВ, С.И.АНДРЕЕВ, Г.Э.ГРИКУРОВ, Д.А.ДОДИН, В.Д.КАМИНСКИЙ, Г.Л.ЛЕЙЧЕНКОВ (ВНИИОкеангеология), Р.Р.МУРЗИН (МНР России), О.И.СУПРУНЕНКО (ВНИИОкеангеология)

Сегодня общепризнанно, что экономическое существование человечества в XXI в. и далее во многом будет обеспечиваться за счет минерально-сырьевого потенциала Арктики и Мирового океана (в первую очередь, его континентального шельфа). В более отдаленной перспективе мировое сообщество, возможно, подойдет и к ресурсам недр Антарктики. Таким образом, можно говорить, что будущее человечества существенно зависит от уровня развития полярной и морской геологии и, в частности, ее ресурсной ветви — минерации.

В одной журнальной статье невозможно всесторонне рассмотреть состояние этой масштабной области науки и геологоразведочной практики, поэтому мы предлагаем выделить несколько наиболее значимых направлений и обсудить их основные достижения и нерешенные проблемы. Это удобно сделать в контексте двух славных юбилейных дат, отмечаемых в 2003 г.: 55-летия НИИГА—ВНИИОкеангеология, головного института страны по геологии и минерации Мирового океана, Арктики и Антарктики, и 70-летия «Отечественной геологии» — научного журнала, так много сделавшего для становления этой области знаний.

Одним из основоположников и признанных лидеров геологии Арктики и Мирового океана был бессменный на протяжении 30 лет директор НИИГА—ВНИИОкеангеология академик И.С.Грамберг. 19 октября 2002 г. Игорь Сергеевич ушел из жизни. Его светлой памяти мы посвящаем эту статью.

**Арктика. Общие проблемы минерации.** Особенности геологии и минерации Северного Ледовитого океана с островными сооружениями и прилегающей арктической суши и важнейшие закономерности размещения и формирования в ее пределах месторождений полезных ископаемых наиболее подробно рассмотрены в работе [8], посвященной 80-летию академика И.С.Грамберга.

Главные черты минерации Северной Полярной области Земли во многом определяются ее особым циркумполярным расположением в структуре нашей планеты и характеризуются своеобразием генерирования и транспортировки рудного вещества; его локализацией в немногочисленных, но крупных и уникальных объектах (золото Аляски, Чукотки, Верхоянья и Северной Земли, олово Янского района и Новосибирских островов, никель и платиноиды Норильска, полиметаллы Рэд-Дога и Новой Земли, алмазы Эбеляха, нефть и газ Тимано-Печорского бассейна и Западно-Арктической шельфовой провинции); многоэтапностью процессов рудо- и нефтегазообразования и, как следствие, полигенностью и полихромностью провинций.

Вопросам изучения и освоения ресурсов недр арктической суши посвящена обширная литература. Здесь мы можем лишь обозначить главные стратегические проблемы арктической минерации:

полное раскрытие геодинамических законов становления Северного Ледовитого океана и прилегающих территорий Арктики с прогнозированием недостающих звеньев рудно-магматических систем различного ранга;

увязка в единую систему процессов океанского, шельфового и континентального рудо- и нефтегазообразования с разработкой глобальной концепции арктического минерогенеза и обоснованием стратегии дальнейшего изучения и освоения Арктики;

установление природно-генетических возможностей открытия нетрадиционных и новых видов минерального сырья;

обоснование особенностей формирования месторождений-гигантов с целью прогнозирования и поисков новых; определение минерально-геохимических балансов ресурсных объектов с целью создания экологически чистых малоотходных замкнутых ресурсосберегающих технологий.

**Нефтегазоносность шельфа арктических морей.** Это направление заслуженно выносится на первое место, т.к. именно подготовка углеводородных ресурсов шельфа к промышленному освоению для обеспечения экономической безопасности Российской Федерации сегодня наиболее актуальная задача морской геологической подотрасли, при этом более 80% начальных прогнозных ресурсов континентального шельфа России сконцентрировано в Арктике.

Между тем история геологического изучения арктического шельфа России не насчитывает и полувека. Только в 50—60-х годах исследователями НИИ геологии Арктики начато опробование и изучение донных осадков (собственно, тогда это и называлось «морская геология») и осуществлен выход на акваторию с первыми аэро- и наледными геофизическими съемками. На основе этой информации в совокупности с накопленными знаниями по геологии арктических побережий и островов в коллективе нефтяников НИИГА, лидером которого был И.С.Грамберг, постепенно складывалась система представлений о высокой перспективности шельфа на нефть и газ. В концентрированном виде она впервые была представлена в статье [2], ставшей идейной основой работ на нефть и газ на их начальном этапе. На уровне знаний того времени среди главных предпосылок нефтегазоносности арктического шельфа были названы: огромная площадь шельфа; большая мощность осадочного чехла; широкое развитие структур платформенного типа; продолжение на шельф крупнейших Тимано-Печорской, Западно-Сибирской, Енисей-Хатангской нефтегазовых провинций; сохранность верхних частей разреза благодаря режиму устойчивого прогибания.

Однако еще задолго до выхода этой программной статьи, в 1972 г., НИИГА была подготовлена и представлена Министерству геологии СССР первая карта перспектив нефтегазоносности арктического шельфа с оценкой прогнозных ресурсов (60—80 млрд. ТУТ). По времени это совпало с пиком морской нефтяной активности в передовых странах Запада. Все это послужило основанием для принятия государственных решений о развороте на шельфе целенаправленных геологоразведочных работ, которые в короткие сроки привели к открытию ряда не просто промышленно значимых, но часто и уникальных объектов — потенциальной основы мирового энергетического и сырьевого рынка будущего. В 1972 г. было организовано Научно-производственное объединение «Севморгео», а затем и ряд специализированных морских геологоразведочных предприятий нефтегазопроисводческой направленности в Мурманске (МАГЭ, «Севморнефтегеофизика», «Арктикморнефтегазразведка» и др.) и на Дальнем Востоке, оснащенных современными аппаратными комплексами, геолого-геофизическими и буровыми судами и т.д. Позже многие предприятия были переданы в топливно-энергетические ведомства Советского Союза. В целом цикл работ на нефть и газ, выполненных в 70—80-х годах на континентальном, прежде всего, арктическом шельфе России, можно считать одной из самых ярких страниц в истории геологической службы нашей страны.

По мере поступления новых материалов морской геологоразведки быстро прогрессировала и теоретическая база.



Если еще недавно шельф рассматривался как простое продолжение материковых платформ, то теперь становится все более очевидным представление о шельфе как о переходном звене единой, совместно эволюционирующей триады материк—шельф—океан.

Тектонической основой нефтегеологических построений служила развиваемая Ю.Е.Погребницким концепция Арктической геодинамической системы, современным географическим выражением которой является Арктическая геодепрессия, охватывающая Северный Ледовитый океан и область его водосбора [6]. Согласно представлениям автора, Арктика в течение последних 250 млн. лет (с поздней перми) развивается как геологически автономный регион с циркумполярной зональностью.

Идея циркумполярности послужила одним из толчков к формированию концепции гигантского Арктического нефтегазоносного супербассейна (пояса нефтегазоносности), впервые представленной геологическому сообществу И.С.Грамбергом на XI Всемирном нефтяном конгрессе в Лондоне в 1983 г. Эта концепция не только служит научной базой нефтегазопроисловых работ на арктическом шельфе, но и относится к категории тех крупных научных истин, которые, овладев массами, приобретают статус как бы всеобщего научного достояния. Важно, что перспективы Арктического пояса нефтегазоносности связаны не только (и не столько) с субаквальным продолжением известных бассейнов суши, сколько со специфическими внутри-шельфовыми бассейнами, а также бассейнами континентального склона и даже океанических плит (рис. 1). Прогнозируется, а затем и подтверждается результатами геологоразведки наличие нескольких этажей нефтегазоносности, при этом наиболее интересны отложения доарктической стадии, по Ю.Е.Погребницкому, и доокеанической фазы арктической стадии (поздняя пермь—ранний мел). Для изучения строения глубоких горизонтов чехла в пределах Западно-Арктического шельфа была разработана и реализована программа бурения параметрических скважин. Результаты этой уникальной операции, имеющие неопределимое научное и прогнозное значение, были также опубликованы в «Советской геологии» [3].

Практические результаты морских работ на нефть и газ оказались весьма успешными. Было доказано, что континентальный шельф России — основной резерв нефтегазодобывающей промышленности страны на ближайшую и отдаленную перспективу — заключает в своих недрах 100—120 млрд. т углеводородов, по разным оценкам, из которых более 80% приходится на долю арктического шельфа.

Была открыта и подготовлена к освоению крупнейшая Западно-Арктическая нефтегазоносная провинция (моря Баренцево, Печорское, Карское), недра которой содержат до 80% ресурсов арктического шельфа России. В пределах этой провинции были выявлены и разведаны более 10 промышленных нефтяных, нефте-, газо-конденсатных и газовых месторождений, включая 4 уникальных и 4 крупных.

Эффективность нефтегазопроисловых работ на шельфе оказалась исключительно высокой, что обусловлено как богатством недр провинции, так и оптимальной организацией геологоразведочного процесса при ведущей роли научно-исследовательской составляющей. Доля продуктивных скважин Баренцева моря составляет более 70%. Прирост запасов на одну скважину достигает 100—150 млн. т. у. т., а средние запасы на одно морское месторождение почти в 50 раз превышают таковые на одно месторождение, открытое в те годы на суше. Эти впечатляющие цифры вполне объяснимы, поскольку наличие месторождений-гигантов (Штокмановское и Ледовое в Баренцевом, Ленинградское и Русановское в Карском морях) играет особую роль, обуславливая благоприятные геоло-

го-экономические предпосылки освоения залежей в сложных физико-географических условиях арктических морей.

Важно, что названные высокие результаты были достигнуты сравнительно «малыми силами»: всего менее 400 тыс. м сейсморазведки и 30—40 буровых скважин. Для сравнения, на континентальном шельфе Норвегии выполнены более 1,7 млн. км сейсмопрофилей и пробурены более 700 глубоких скважин, не считая эксплуатационных.

В настоящее время морские месторождения обеспечивают около 35 и более 31% общемировой добычи нефти и газа соответственно. К началу 2002 г. из 93 нефтегазодобывающих стран 54 вели добычу из морских месторождений. В норвежском секторе Северного моря время от начала сейсмических работ до начала добычи составило 9 лет. На арктическом шельфе России целенаправленные сейсмические работы ведутся уже 30 лет, первое месторождение (Мурманское газовое) открыто 20 лет назад (в 1982 г.), однако реальная добыча пока не начата. Таким образом, на первый план выходит проблема уже не геологическая, а политико-экономическая — проблема освоения уже подготовленных месторождений Западно-Арктической провинции.

Возвращаясь к кругу геологических вопросов, нужно отметить, что в связи с резко ограниченными объемами морских геологоразведочных работ в последние годы разведанных запасов на арктическом шельфе пока явно недостаточно для длительного обеспечения намечаемой добычи нефти. Применительно к Западно-Арктической провинции существенные приросты запасов могут обеспечить следующие объекты:

- область мелководья («транзитная зона») Печорского моря, где непосредственно прослеживаются нефтегазоносные структуры Тимано-Печорской провинции и которую до последнего времени не удавалось изучить ни с суши, ни с моря;

- область регионального выклинивания палеозойских отложений на Кольском шельфе, где, вероятно, широко распространены крупные неструктурные ловушки;

- область западного платформенного борта Баренцево-Северокарского мегапрогиба (грабен-рифта), где развиты крупные поднятия типа сводов Федьинского, Персей и др.;

- структурные седловины в областях сочленения крупных впадин и поднятий;

- область распространения позднепалеозойских клиноформ на Печорском море.

Президентом России 27 июля 2001 г. утверждена «Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года», где указывается, что «перспектива истощения запасов углеводородного сырья и других минеральных ресурсов на континентальной части предопределяет переориентацию разведки и добычи ресурсов полезных ископаемых на континентальный шельф, а в перспективе и на океанические склоны и ложа океанов». Для реализации изложенной в доктрине национальной морской политики Министерством природных ресурсов России разработана «Долгосрочная программа действий МПР России в части разведки и использования природных ресурсов и обеспечения охраны окружающей среды». Наконец, недавно МПР России завершило подготовку программы лицензирования участков недр континентального шельфа до 2005 г., охватывающей важнейшие моря страны и позволяющей определить очередность проведения лицензионных конкурсов по интересу, проявленному потенциальными инвесторами к тому или иному участку. В программе лицензирования впервые реализована идея создания на континентальном шельфе России Государственного стратегического резерва углеводородного сырья на базе Ледового в Баренцевом, Ленинградского и Русановского газо-конденсатных месторождений в Карском море. Параллельно



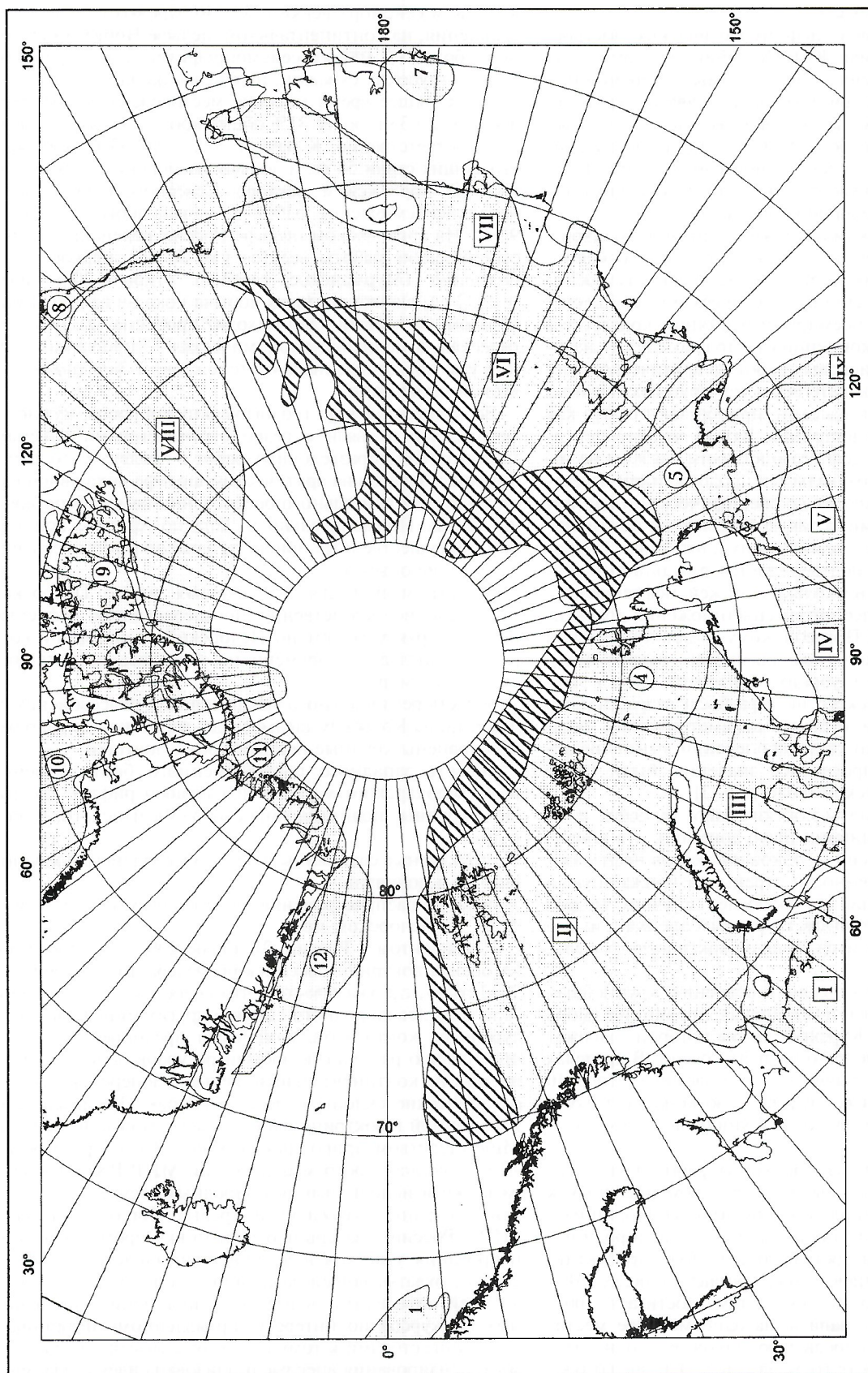


Рис. 1. Схема нефтегазogeологического районирования Северного Ледовитого океана:

1 — шельфовые зоны; 2 — глубоководные зоны Евразийской континентальной окраины; нефтегазоносные и перспективные провинции: НГП: 1 — Тимано-Печорская, 2 — Баренцевская, 3 — Западно-Сибирская, 4 — Енисейско-Анабарская, 5 — Лено-Тунгусская, 6 — Восточно-Арктическая, ПНП: VII — Новосибирско-Чукотская, VIII — Иннуитско-Чукотская, IX — Лено-Вилуйская НГП; нефтегазоносные и перспективные области (НГО и ПНГО): 1 — Средне-Норвежская ПНО, 2 — Поморская ПНО, 3 — Предбаренцево-Карская ПНО, 4 — Северо-Карская ПНО, 5 — Лаптевская ПНО, 6 — Северо-Лаптевская ПНО, 7 — Анадырская НГО, 8 — НГО дельты Маккензи — моря Бофорта, 9 — НГО Свирдлова, 10 — Баффина ПНО, 11 — ПНГО Линкольна-Уэндела, 12 — Восточно-Гренландская ПНО



льно разрабатывается Программа региональных геолого-геофизических работ, ориентированная на доизучение морей Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, где не завершен даже региональный этап исследований и, следовательно, оценки нефтегазовых ресурсов недостаточно надежны.

В заключение нельзя не упомянуть и одну принципиально новую для нас научную, а для западных недропользователей — уже вполне практическую проблему. Сегодня крупнейшие транснациональные компании интенсивно осваивают месторождения континентального склона, расположенные на глубинах моря более 1000 м в Мексиканском заливе, на атлантических континентальных окраинах Южной Америки и Африки. В Мексиканском заливе в последние годы основные приросты запасов и добычи обеспечиваются именно глубоководными (зашельфовыми) месторождениями, а в Бразилии более 70% добычи нефти дают месторождения, расположенные на глубинах 400—2000 м, с суммарными запасами более 1 млрд. т при вполне приемлемой себестоимости добычи. Установлено, что по мере перехода от прибрежно-шельфовых бассейнов к внутришельфовым и далее к глубоководным имеет место «омоложение» продуктивных интервалов, увеличение доли комбинированных и неструктурных ловушек, расширение катагенетической зональности, увеличение газовой составляющей.

Таким образом, перед нашей морской нефтяной геологией встает новая стратегическая задача — начало систематического изучения перспективных осадочных бассейнов континентального склона и подножия Северного Ледовитого океана.

**Обоснование внешней границы континентального шельфа России в Арктическом бассейне.** Эта новая и, казалось бы, сугубо геополитическая проблема на самом деле тесно примыкает к проблеме нефтегазоносности шельфа, поскольку речь идет о возможном приращении к России перспективной субаквальной площади, входящей в состав Арктического нефтегазоносного супербассейна, о котором сказано выше.

Проблема определения внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) за пределами 200-мильной зоны приобрела для нашей страны исключительную актуальность, когда в связи с ратификацией Россией в 1997 г. «Конвенции ООН по морскому праву 1982 г.» и вводом в действие Федерального Закона «О континентальном шельфе Российской Федерации» (30 ноября 1995 г.) возник вопрос о возможности распространения понятия «юридический шельф России» на значительную часть глубоководной акватории. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16 июня 1997 г. Министерством природных ресурсов совместно с Министерством обороны РФ разработана и утверждена в 1998 г. «Программа работ по подготовке перечней географических координат точек, определяющих линии внешних границ континентального шельфа РФ в Северном Ледовитом и Тихом океанах (ВГКШ), и их обоснование». Исполнителями Программы определены: ВНИИОкеангеология, МАГЭ, ПМГРЭ и «Севморгео» (Министерство природных ресурсов), Главное Управление Навигации и Океанографии (Министерство обороны РФ), «Аэрогеодезия» (Федеральная служба геодезии и картографии России).

Особенности рельефа и глубинного строения дна Северного Ледовитого океана, его расположение на планете, недостаточный уровень геолого-геофизической изученности и неоднозначность трактовки истории формирования его недр обусловили значительные сложности в определении ВГКШ приарктических государств и определяющую роль батиметрических и геолого-геофизических критериев при решении данного вопроса. Вследствие этого проблема приобретает и фундаментальное значение для геологиче-

ской науки, обогащая ее новой современной информацией о глубинном строении недр Арктического бассейна.

Решение задачи началось с создания современной информационной основы. В 1999 г. совместно ГУНиО МО и ВНИИОкеангеология под научной редакцией И.С.Грамберга издана карта рельефа дна Северного Ледовитого океана масштаба 1:5 000 000 и подготовлена ее цифровая версия.

По потенциальным полям создана согласованная цифровая база данных Арктической акватории, в которую включены результаты практически всех аэромагнитных и гравиметрических съемок, проведенных в России за 40 лет. Построены сводные карты аномального магнитного и гравитационного полей Северного Ледовитого океана. В рамках совместного проекта между US Naval Research Laboratory и ВНИИОкеангеология получен и включен в отечественную базу данных значительный объем результатов западных исследований.

Было оцифровано и полностью заново обработано с использованием современных компьютерных технологий более 40 тысяч результатов сейсмозондирований, полученных с дрейфующих станций «Северный полюс» и в высокоширотных экспедициях «Север», начиная с 60-х годов. На этой основе создан интегрированный банк сейсмических данных и разработана система сейсмометрических профилей через 60 миль, необходимая для определения подножия континентального склона (ПКС) и оценки мощности осадочного чехла в котловинах Арктического бассейна. Весь объем данных ГСЗ (1900 км), полученных в 1992 г. по программе «Трансарктика» (ПМГРЭ—ВНИИОкеангеология), был обработан сейсмотомографическим способом. Эти материалы позволили в самом конце 90-х годов определить глубинное строение трех геоструктур: континентальной окраины Восточно-Сибирской плиты (шельфа островов Де Лонга) с классическими чертами континентальной коры, аваншельфовой (переходной) ступени котловины Подводников с очевидными чертами континентальной коры и абиссальной ступени котловины Макарова с параметрами консолидированного основания и верхней мантии, не вполне типичными как для континентальных, так и океанических структур.

Одна из крупнейших морфоструктур Северного Ледовитого океана — хр.Менделеева, тип и строение коры которого до последнего времени оставались неизвестными. Поэтому в 2000 г. был проведен уникальный натурный эксперимент — на геотраверсе «Арктика-2000» длиной 480 км, с использованием НЭС «Академик Федоров» с двумя вертолетами на борту для производства наблюдений авиадесантным способом были выполнены сейсмические работы ГСЗ—МПВ и МОВ. Геотраверс пересек хр. Менделеева и прилегающие части котловин Подводников и Канадская.

В результате обработки материалов «Арктика-2000» было установлено, что осадочный чехол разделен на четыре слоя со скоростями (в км/с сверху вниз): 1,7—2,4; 2,8—3,5; 3,9—4,3; 5—5,5. Общая мощность чехла колеблется от 1 км на востоке, в области склона в Канадскую котловину, и 2 км в осевой части хр.Менделеева до 5,5 км в котловине Подводников.

Консолидированная кора имеет мощность 15—31 км и отчетливо разделяется на верхнюю и нижнюю кору со средними скоростями 6,3 и 6,9 км/с соответственно. Между нижней корой и мантией выделяется тонкий (до 2 км) переходный коро-мантийный слой с локальными раздутиями до 6 км. Максимальная глубина погружения поверхности мантии (М) составляет 31,5 км. Мантия воздымается на запад с крутизной склона (тангенс угла падения) 0,05 и на восток с крутизной 0,1—0,15, типичной для средней части литрических сбросов, выполаживающихся с глубиной.



Сказанное свидетельствует, что геоструктуры Центрально-Арктической области поднятий (хр.Ломоносова, котловина Подводников, хр.Менделеева) имеют континентальный тип коры. Редукция коры связана с подъемом мантии и возникновением корового свода с центром в котловине Подводников, его растяжением, расколом и оттоком коры по склонам мантийного купола.

Дополнительно на склоне хр.Менделеева были выполнены драгирование и донный пробоотбор (32 станции). Собранный грубообломочный материал, очевидно, отражающий состав местных коренных пород, представлен кварцевыми песчаниками, доломитами, известняками, гранитами и другими породами явно не океанического происхождения.

Таким образом, можно сделать вывод о континентальной природе коры поднятий хребтов Менделеева и Ломоносова, которые представляют собой подводное продолжение материковой окраины российской Арктики, а их склоны в глубоководные котловины соответственно интерпретировать как континентальные склоны. По структуре земной коры котловину Подводников можно трактовать как внешний шельф подводной окраины материка.

Другой критерий из Конвенции по определению ВГКШ — положение изолиний мощности осадочного чехла, равной 1% расстояния от подножья континентального склона (1%-ные изопакиты). В результате современной компьютерной обработки материалов многолетних площадных сейсмозондирований МОВ построены глубинные геодинамические разрезы по Евразийскому и частично Амеразийскому бассейнам, которые позволили выявить главные закономерности в распределении мощности осадочного чехла и подготовить первую версию положения 1%-ной изопакиты в Евразийском бассейне. В пределах котловин Нансена и Амундсена впервые выделены два крупных прогиба шириной до 150 км, с мощностью чехла до 4 км, осевые линии которых повторяют простирание хр.Гаккеля. Существование и положение обоих прогибов подтверждается и структурным планом остаточных изостатических гравитационных аномалий Евразийского бассейна.

Факт выделения мощных прогибов в котловинах Евразийского бассейна позволяет на большинстве сейсмометрических разрезов сдвинуть точки 1%-ных изопакит за пределы границы 60-мильной зоны от ПКС и существенно нарастить площадь континентального шельфа, попадающего под юрисдикцию России, прежде всего в котловине Амундсена. Значительная мощность осадочного чехла в пределах глубоководной области Северного Ледовитого океана создает предпосылки для положительной оценки перспектив нефтегазоносности рассматриваемой площади.

Полученные новые сейсмические данные по Евразийскому бассейну позволяют сделать принципиально новый предварительный вывод о том, что хр.Гаккеля и, возможно, западная часть хр.Ломоносова являются наложенными структурами, возникшими в новейшее время, а до их появления на месте современного Евразийского бассейна существовал единый осадочный бассейн.

В целом, по совокупности данных предлагается нарастить площадь континентального шельфа России в Арктическом бассейне, за пределами 200-мильной исключительной экономической зоны, на 1,2 млн.км<sup>2</sup> с прогнозными ресурсами углеводородов около 4,9 млрд.ТУТ, по данным на 2002 г. (рис. 2, цветная вставка).

Безусловно, работы по методическому, нормативно-правовому и информационному обеспечению проекта ВГКШ должны быть продолжены. Впереди и фундаментальная научная обработка материалов по глубинному строению литосферы Арктики. Необходимо сказать, что в последние годы жизни И.С.Грамберг был искренне увлечен этой проблемой, но, к несчастью, не успел довести работу до конца.

**Мировой океан.** Проблема изучения минерально-сырьевых ресурсов Мирового океана оказалась в центре внимания в 70-х годах XX в. Она открыла новую страницу в истории института, коллектив которого до этого занимался арктическими регионами и Антарктидой. Под влиянием океанического научного направления в 1982 г. НИИГА был преобразован во Всесоюзный научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. Активным инициатором научных и геологоразведочных работ в океане был Б.Х.Егизаров.

В ближайшие 10 лет был определен перечень основных видов минерального сырья: железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобальтоносные марганцевые корки (КМК), глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) и фосфориты. На начальном этапе (1975—1987 гг.) основное внимание уделялось ЖМК, при этом ажиотаж был вызван открытием в 1974 г. первого месторождения ЖМК в районе разлома Клариян (Тихий океан) и претензией на него со стороны США. Другие страны: Франция, Германия, Япония и Советский Союз стремились в сжатые сроки закрепить свой национальный приоритет.

Научно-методическая база геологоразведочных работ на ЖМК в начале исследований опиралась на труды геологов Института океанологии АН СССР, затем головная роль перешла к ВНИИОкеангеология. Был разработан комплект методических документов, регламентирующих последовательность ГРП, состав геолого-геофизического комплекса, стадийность работ, таксономическую иерархию скоплений ЖМК. Они прошли несколько стадий совершенствования и в 1997 г. были изданы в виде сводного труда в двух книгах «Методика геологоразведочных работ на железо-марганцевые конкреции Мирового океана». В настоящее время «Южморгеология» обобщает результаты экспедиционных работ и готовится к составлению следующего поколения методик.

Результатом большого цикла океанских геологоразведочных работ, выполненных объединением «Южморгеология» и «Севморгеология», явился выбор богатого объекта в поле Клариян-Клиппертон (Тихий океан) и подача заявки в Международный Орган по морскому Дну (МОД) ООН. В 1987 г. «Южморгеология» получила Международный Сертификат на участок морского дна площадью 75 тыс.км<sup>2</sup> в поле Клариян-Клиппертон (Тихий океан) с правом дальнейшего изучения и освоения расположенного в его пределах месторождения ЖМК (Mn 27—29%; Ni 1,2—1,4%; Cu 1—1,2%; Co 0,2%). По геолого-экономическим оценкам, месторождение ЖМК адекватно двум крупным месторождениям Ni и Cu и двум уникальным месторождениям Mn и Co на суше. Оно способно обеспечить полномасштабную добычу с годовой производительностью 3 млн.т руды на протяжении более 20 лет. В пределах месторождения проводятся поиски, разведка, инженерно-геологические работы и геоэкологические исследования. Одновременно, совместно со странами восточной Европы (Болгария, Венгрия, ГДР, Польша, Румыния, Чехословакия), а также Кубой и Вьетнамом, работы велись в рамках Организации ИНТЕРОКЕАНМЕТАЛЛ. Они завершились в 1992 г. получением второго участка на востоке того же поля, адекватного первому по многим параметрам.

Работы на кобальтоносные корки начались в 1986—1987 гг. сначала во ВНИИОкеангеология, а затем были переданы в «Дальморгеология». Научно-методическая основа ГРП на корки, как и ЖМК, разрабатывалась «на ходу», в процессе реализации геологоразведочных планов, и представлялась сначала в виде отдельных методических брошюр, охватывающих весь цикл от региональной до поисково-разведочной стадии, а в 1996 г. в виде сводного труда: «Кобальтмарганцевые корки Мирового океана». Работы проводились в северо-западной части Тихого океана



на поднятии Мидпасифик, хр.Неккер, поднятии Уэйк и Магеллановых горах. К началу 90-х годов главные объекты были определены в виде двух гайотов МА-15 и МЖ-35 (Магеллановы горы), детально обследованы и рассмотрены в 1994 г. в ТЭС как предмет будущей заявки в МОД ООН. В дальнейшем ресурсная оценка показала, что заявочную продуктивную площадь залежей КМК (Со 0,5—0,6%; Мп 20—22%; Ni 0,4—0,6%) нужно расширить в 1,5—2 раза, чтобы иметь резерв для выбора и передачи в МОД ООН части изученной площади. В настоящее время объекты тщательно изучаются с целью подготовки заявочных материалов в Международный Орган по морскому дну ООН. На них ведутся детальные поиски и инженерно-геологические работы.

Огромный фактический материал, собранный в разных океанах в ходе подготовки заявочных материалов, позволил осуществить крупный прорыв в области познания океанской геологии и рудогенеза. В 1984 г. (ВНИИОкеангеология) и 1987 г. («Южморгеология») вышли две монографии, посвященные широкому комплексу вопросов, связанных с условиями залегания, закономерностями распространения, ресурсными оценками возможностей освоения месторождений ЖМК. В рамках международного сотрудничества с восточноевропейскими странами изданы за рубежом (1985 и 1990 гг.) два Атласа морфологических типов ЖМК: один Тихого, другой всего Мирового океана. В 1991 г. подготовлен и опубликован комплект карт (Геоморфологическая карта и Карта твердых полезных ископаемых масштаба 1:25 000 000). В 1994 г. вышла в свет обобщающая монография «Металлогения железомарганцевых образований Тихого океана», в которой рассматриваются модель формирования месторождений ЖМК, роль вертикальной геохимической зональности, выделяются геохимические типы конкреций и корок и продуктивные интервалы их формирования. Научный итог изучения КМК — монография «Кобальтбогатые руды Мирового океана» и две карты масштаба 1:25 000 000, иллюстрирующие особенности распространения корок и распределения их ресурсов в океане, подготовленные ВНИИОкеангеология в 2002 г.

В настоящее время можно считать установленным, что Fe-Mn рудогенез — «штатный» рудообразующий процесс Мирового океана. Его ресурсный потенциал оценивается в 100 млрд.т и более сухой рудной массы. Особенности этого феномена определяются сугубо океанской спецификой. Он не имеет аналогов на континентах ни в прошлой, ни в настоящей истории геологического развития планеты. Продукты Fe-Mn рудогенеза — это комплексные оксидные и гидроксидные соединения сугубо «фемических» элементов: Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Pt, Mo, La, Ce. Они находятся под воздействием факторов глубинного характера, включающих на уровне мантии активизированную астеносферу, на уровне коры — толеитовые базальты, на уровне водной толщи океана — специфическую среду с четкой вертикальной геохимической зональностью. Практическое значение имеют два типа Fe-Mn образований: Ni-Cu-Mn-богатые конкреционные руды типа Кларифон-Клиппертон (Тихий океан), залегающие в абиссальных районах (4600—5000 м), и Со-богатые корки (Гавайский тип), образующиеся на склонах и вершинах подводных гор и гайотов (600—2500 м).

Глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) — наиболее сложный вид полезного ископаемого, активно изучается с 1985 г. совместно Полярной экспедицией (г.Ломоносов) и ВНИИОкеангеология. Эти образования связаны с гидротермальной деятельностью вдоль осевой рифтовой зоны срединно-океанических хребтов.

В настоящее время работы сосредоточены в Северо-Атлантическом хребте. Здесь в 1993—1994 гг. выявлено рудное поле «Логачев» с объемом рудной массы около 2 млн.т

при высоком содержании Cu (10—28%) и Au (10—40 г/т). Этого не достаточно для того, чтобы начать готовить заявку в МОД ООН. Минимальный ресурс рентабельного месторождения ГПС оценивается в 10—12 млн.т. Главная задача состоит в наращивании фонда новых рудопроявлений ГПС и разработке концепции их объединения в рамках единой заявки в МОД ООН. Подготовлена методическая база для региональной стадии и детального опосредования выявленных объектов. Сложность проблемы ГПС состоит в недостаточной технической оснащенности ГРП дистанционными геофизическими методами, бурением со дна и ОПА.

Важный вклад в изучение общих вопросов геологии и тектоники океана внесли геотраверсы Анголо-Бразильский и Канаро-Багамский. Они подготовили геолого-тектоническую основу для последующего успешного решения минерагенических задач с учетом глубинного строения и истории развития Мирового океана.

Годы на рубеже столетий особенно плодотворны и изобилуют новыми научными трудами, посвященными вопросам минерагении океана. В 1997 г. вышла книга «Металлогеническая зональность Мирового океана»; в 1998 г. «Объяснительная записка к металлогенической карте Мирового океана» (1:10 000 000); в 1999 г. монография «Геодинамика и рудогенез Мирового океана»; в 2000 г. опубликованы сразу две новаторские карты: «Металлогеническая карта Мирового океана» и «Геолого-минерагеническая карта Мира» (ВСЕГЕИ—ВНИИОкеанология) — обе в электронном виде в масштабе 1:15 000 000.

Авторами всех этих работ являлись геологи и геофизики ВНИИОкеангеология, а научным руководителем был академик И.С.Грамберг. Здесь уместно отметить особый творческий стиль Игоря Сергеевича. Он развивал геосторический подход, который выразился в создании эволюционного ряда океанов (от древних к молодым): Тихого (палеозойского) — Индийского и Атлантического (мезозойских) — Северного Ледовитого (кайнозойского). Казалось бы, эту концепцию трудно совместить с единовременным началом в средней юре спрединга океанических базальтов, зафиксированного во многих глубоководных акваториях. Если рассматривать эти положения как дополняющие друг друга, можно было думать о латентном этапе развития океанических пространств в досреднеюрское время в режиме «магматического» океана.

Понятно, что в ближайшие годы проблема Мирового океана будет носить в основном геополитическую окраску. Однако нельзя забывать, что придут и более отдаленные времена, и через 15—20 лет добыча полезных ископаемых со дна океана станет не только реальной, но и экономически целесообразной. При этом нужно учесть, что раньше «войдет» в океан, тот раньше достигнет уровня высокой рентабельности в эксплуатации океанских месторождений и станет контролировать мировой рынок стратегического сырья.

**Антарктика.** Российские геолого-геофизические исследования в Антарктике развернулись в 1956 г. и с тех пор систематически проводятся сначала Советскими, а с 1991 г. Российскими антарктическими экспедициями. Их цель — изучение геологического строения и истории формирования земной коры Антарктиды и ее континентальной окраины для прогноза минерально-сырьевого потенциала и расширения базы фундаментальных геологических знаний. С самого начала этих работ НИИГА, а впоследствии НПО «Севморгео» и ПГО «Севморгеология» приняли на себя головные функции как в системе Договора об Антарктике, так и на национальном уровне.

На раннем этапе исследований осуществлялось преимущественно рекогносцировочное геологическое изучение горных районов Восточной Антарктиды. Главным объектом служили докембрийские комплексы кристаллическо-



го фундамента Восточно-Антарктической платформы и прорывающие их разновозрастные интрузии. На основании детального изучения метаморфических фаций и данных тогда еще несовершенных геохронологических методов была разработана концепция эволюций Антарктической платформы, начиная от формирования древнейших на Земле катархейских пород (эндербитов) в составе ее кристаллического основания до мощнейшей тектономагматической активизации в начале палеозоя (панафриканский тектогенез). Были выявлены проявления и многочисленные признаки полезных ископаемых. Отечественным геологам удалось также принять участие в работах в Западной Антарктиде в составе зарубежных экспедиций. Итоги этого этапа в сжатой форме были представлены в работе [7], публикация которой положила начало дальнейшему освещению ключевых вопросов геологического строения Антарктики и результатов его изучения российскими исследователями.

В 70-х годах сформировались и новые направления в антарктических исследованиях. Это, прежде всего, изучение глубинного строения потенциально нефтегазоносных осадочных бассейнов континентальной окраины Антарктиды, которая сначала изучалась аэрогеофизическими методами, а с 80-х годов стала объектом систематических морских сейсмических исследований. Важным направлением стало изучение геофизическими методами полностью закрытых льдом районов Антарктиды (в последнее время охватившее подледное озеро Восток). Объемы экспедиционной деятельности стали резко возрастать, и ее главную тяжесть приняла на себя производственная организация ПМГРЭ, тогда как НИИГА—ВНИИОкеангеология продолжал оставаться тем центром, где происходило творческое осмысление результатов полевых исследований, их научное обоснование и стратегическое планирование.

В результате многолетней экспедиционной деятельности на континенте геологическими исследованиями охвачена большая часть обнаженных районов; в морях Антарктики выполнены около 45 тыс. км многоканальных сейсмических (МОВ ОГТ) и более 60 тыс. км гидромагнитных и набортных гравитационных наблюдений; в Восточной Антарктиде и на ее континентальной окраине проведены аэрогеофизические (магнитные, гравиметрические и радиолокационные) съемки на площади около 5 млн. км<sup>2</sup> с общей протяженностью профилей более 450 тыс. км, получили развитие важные природоохранные мероприятия (минимизация ущерба природной среде в ходе проведения всех видов экспедиционных исследований).

Современные представления о тектонической структуре и эволюции Антарктики отражены на схеме тектонического районирования (рис. 3, цветная вставка). Строение и история формирования издавна выделяемых двух крупнейших структурных провинций — докембрийской платформы Восточной Антарктиды и ее тихоокеанского складчатого обрамления — получили новое освещение, основанное на сбалансированном сочетании новых геодинамических идей с рациональными положениями представлений традиционной тектоники. В пределах первой выделены подледные области гипотетического распространения недифференцированных платформенных чехлов и Антарктический щит, где ядра ранней стабилизации — архейско-раннепротерозойские кратоны — разделены и окружены комплексами протерозойского подвижного пояса, образованного в ходе гренвильского сутурирования вблизи рубежа мезо- и неопротерозоя.

Тихоокеанская окраина Антарктиды классифицируется как фанерозойский подвижный пояс, который включает несколько разновозрастных складчатых систем и зон, последовательно наращивающих друг друга в направлении от Трансантарктических гор к побережью.

Складчатые структуры Антарктического полуострова расположены на месте палеозойско-триасовой тихоокеанской пассивной окраины Гондваны. В ходе распада суперконтинента произошло обособление Антарктического полуострова в виде собственно дуговой структуры, отделившейся от остальной континентальной массы вследствие начавшегося разрастания задугового бассейна моря Уэдделла. Фронтальный фланг дуги превратился в активную окраину над зоной субдукции.

Изложенная трактовка геологической истории Антарктики имеет большое значение для научной оценки минерально-сырьевых перспектив региона. На основании выявленных проявлений полезных ископаемых и по аналогии с другими гондванскими материками наибольший металлогенический интерес на Антарктическом щите прогнозируется для ядер древней стабилизации (Fe, Au, Pt, U). С активизациями фундамента Восточно-Антарктической платформы и рекурентными процессами континентального рифтогенеза связаны разновозрастные проявления магматизма, в т.ч. щелочно-ультраосновного и щелочного. В последних, несмотря на малочисленность и малые размеры надледных выходов, обнаружены минералы-спутники и единичные обломки кристаллов алмазов, а также признаки повышенных концентраций Nb, Ti, Zr. Рифтогенная природа предполагается также для крупных расслоенных интрузий габброидов, сходных с теми, которые во многих районах мира продуцируют уникальные месторождения Co, Ni, Cu, Cr, V, платиноидов. Протерозойский подвижный пояс может представлять интерес в отношении разнообразных металлических (Cu, Pb, Zn, Mo, Be, REE) и неметаллических (флогопит, мусковит, апатит) полезных ископаемых. Бурный известково-щелочной магматизм, господствовавший на активной окраине Антарктического полуострова в мезозое и кайнозое, позволяет ожидать существование здесь медно-порфирового пояса андского типа (Cu, Mo, Ag, Pb, медно-колчеданное оруденение с полиметаллами и золотом, хром и асбест в гипербазитах и др.). Крупнейшие из выявленных в Антарктиде проявлений пока представлены только каменными углями (общие запасы в Трансантарктических горах до 150 млрд. т, в компактном углепроявлении в горах Принс-Чарльз 7—8 млрд. т) и железистыми кварцитами (горы Принс-Чарльз, ресурсы железа 5—10 млрд. т).

Пассивную континентальную окраину Антарктиды образует кольцо крупных седиментационных бассейнов, чехол которых включает мощные позднемезозойско-кайнозойские рифтовые и покровные (пострифтовые) комплексы осадочного чехла. Местами в основании осадочного заполнения бассейнов залегают дорифтовые платформенные или молассоидные толщи преимущественно палеозойского возраста. Общая мощность практически повсеместно достигает 3 км и более и превышает 10 км в наиболее углубленных частях самых крупных бассейнов, расположенных в морях Уэдделла, Содружества, Росса и вдоль побережья Земли Уилкса.

Прямые признаки нефти и газа в Антарктиде пока не обнаружены. В основе оптимистического общего прогноза лежат следующие предпосылки: 1) огромная общая площадь шельфа (6—6,5 млн. км<sup>2</sup>, в т.ч. 2—2,5 млн. км<sup>2</sup> на открытом шельфе и в верхней части материкового склона); 2) значительная мощность осадочного чехла и его широкий стратиграфический диапазон при доминирующей роли юрско-мелового интервала, известного высоким нефтегазогенерационным потенциалом; 3) признаки наличия в осадочном чехле региональных несогласий, положительных структур, зон выклинивания пластов, дизъюнктивных нарушений и иных благоприятных факторов для формирования ловушек нефти и газа; 4) широкий спектр фациальных обстановок осадконакопления. Общий объем осадочного материала в бассейнах Антарктиды составляет



30 млн. км<sup>3</sup>, а прогнозные ресурсы углеводородов, по сугубо приблизительной первой оценке, не менее 50 млрд. ТУТ.

В заключение можно сказать, что если первые 15—20 лет российских геологических исследований в регионе заложили основы понимания истории становления континентальной литосферы Антарктиды в составе Гондваны, то за последующие десятилетия наибольший прогресс был достигнут в отношении осмысления процессов ее рифтовой деструкции в ходе распада суперконтинента, причем познанию фундаментальных закономерностей сопутствовала уже более углубленная оценка их минерагенической значимости. Такой подход ярко проявился в обобщающих статьях, помещенных в журнале «Советская геология» в 80-х годах [4, 5].

Ждут разработки следующие актуальные научные вопросы: детализация истории становления земной коры Антарктики и распада Гондваны; реконструкция изменений природной среды Антарктики в позднем фанерозое; выделение и генетическая классификация главных структурно-минерагенических провинций Антарктики и разработка методологии прогноза сырьевых ресурсов ее недр.

Главная стратегическая задача будущих геолого-геофизических исследований в Антарктике, отвечающая долгосрочным интересам России, — создание национального банка данных по минеральным ресурсам Антарктики и разработка научного прогноза перспектив их использования. Этим будут созданы гарантии полноправного участия нашей страны в любых формах возможного в будущем освоения антарктических недр — от выработки механизма регулирования такой деятельности (в т.ч. путем выдвижения лицензионно-коммерческих инициатив) до ее непосредственного осуществления.

Следует отметить также, что сегодня ресурсная деятельность в океане и на шельфе активно перемещается из чисто научной сферы в производственную. В соответствии с «Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденной Президентом Российской Федерации В.В. Путиным 27 июля 2002 г., и Федеральной

целевой программой «Экология и природные ресурсы России на 2002—2010 годы» (постановление Правительства Российской Федерации № 860 от 7 декабря 2001 г.) основными целями морских работ МПР РФ являются:

изучение геологического строения и минеральных ресурсов недр континентального шельфа России и Международного района морского дна Мирового океана для подготовки минерально-сырьевого потенциала к промышленному освоению с целью обеспечения экономической безопасности Российской Федерации;

нормативно-правовое, научно-техническое и информационное обеспечение морских геологоразведочных работ; разработка согласованных системных мероприятий и единой государственной политики для изучения и освоения минеральных ресурсов Мирового океана в рамках федеральной программы на основе концентрации межотраслевых финансовых, материальных и интеллектуальных ресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грамберг И.С. Сравнительная геология и минерагения океанов и их континентальных окраин с позиций стадийного развития океанов // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3—19.
2. Грамберг И.С., Краев А.Г., Карасик А.М. Геотектонические предпосылки нефтегазоносности северных морей СССР // Советская геология. 1975. № 2. С. 17—24.
3. Грамберг И.С., Школа И.В., Бро Е.Г. Параметрические скважины на островах Баренцева и Карского морей // Советская геология. 1985. № 1. С. 95—98.
4. Иванов В.Л. Геологические предпосылки прогноза нефтегазоносности недр Антарктики // Советская геология. № 2. 1985. С. 3—14.
5. Иванов В.Л., Грикуров Г.Э., Куринин Р.Г. Континентальная окраина Антарктиды: строение, эволюция, концепция изучения // Советская геология. № 12. 1990. С. 47—58.
6. Погребницкий Ю.Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // Советская геология. 1976. № 12. С. 3—32.
7. Равич М.Г., Грикуров Г.Э. Основные черты тектоники Антарктиды // Советская геология. 1970. № 1. С. 12—27.
8. Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Под ред. Д.А. Додина, В.С. Суркова. — С.-Пб.: ВНИИОкеангеология, 2002.



# Геодинамические процессы во флюидосфере и некоторые их следствия

Г.С.ВАРТАНЯН (ВСЕГИНГЕО)

Глобально регистрируемые геодинамические процессы охватывают всю флюидосферу [5] и развиваются в условиях всестороннего воздействия на массивы горных пород переменного в реальном времени поля напряжений—деформации. Это синтетическое по генезису поле (деформационные составляющие которого имеют как остаточные, так и переменные компоненты) определяющим образом влияет на темпы, направленность, масштабы многих процессов эволюции геологического вещества, а на больших глубинах предопределяет условия транспорта и накопления ранее существовавших и вновь генерированных флюидных масс.

Высокая подвижность флюидов обеспечивает специфические условия накопления весьма значительных объемов газовых и жидких составляющих в разнообразных дефектах—полостях горных пород глубоких частей разреза. При этом вязкостные свойства и адгезия флюидов способствуют их тесному контакту с матрицей горных пород, что обеспечивает практически мгновенную реакцию газовой—жидкой составляющей на любые изменения поля напряжений—деформации. Очевидно, что в последнем случае должны регистрироваться аномальные реакции газов и жидкостей в литосферных толщах, практически на всех уровнях флюидосферы, что и отражено во многочисленных результатах исследований последних десятилетий [15, 18, 23, 26, 29, 30, 33 и др.]. В свою очередь, сами флюиды как геохимический реагент и мощный транспортный фактор играют главенствующую роль в процессах преобразования геологической материи, а при определенных условиях интенсивно влияют на ход микрогеодинамических процессов, скорость и масштабы их разрушительного действия в геологической среде.

Говоря об изменении состояния массивов горных пород и оценивая «вклад» деформационных процессов в формирование глобального поля напряжений, рассмотрим некоторые из них, масштабы которых имеют региональный или даже планетарный характер.

*Остаточные деформации и некоторые механизмы формирования полей напряжений.* Как было показано ранее [1, 2, 6, 7], геологически длительный и направленный вынос из глубоких недр материи в виде флюидных продуктов переработки вещества горных пород обуславливает создание остаточных деформаций в виде специфического образования — дефекта геологического пространства (ДГП). В результате устойчиво развивающегося в пространстве и времени выноса вещества горная порода, приспособляясь к новым  $P$ - $T$  условиям, увеличивает плотность и уменьшает исходный объем. Прямое следствие формирования ДГП — направленная тенденция компенсирующих гравитационных просадок в жестких массивах горных пород «кровли» и постоянная модификация ранее сформировавшегося поля напряжений—деформации.

Поскольку процессы изменения состояния вещества горных пород, включая изменения объема, в литосфере повсеместны (с различиями лишь в интенсивностях и направленности процесса по отдельным структурам, массивам, блокам), то их «вклад» в становление переменного во времени поля напряжений—деформации весьма существен, а в некоторых регионах, вероятно, имеет и определяющее значение.

Формирование остаточных деформаций и ДГП можно учесть по простой зависимости:

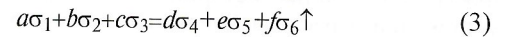
$$\Delta W = W_{\text{исх}} - W_{\text{ост}}, \quad (1)$$

где  $\Delta W$  — дефект геологического пространства, км<sup>3</sup>;  $W_{\text{исх}}$  — исходный объем породы до начала метаморфических реакций, км<sup>3</sup>;  $W_{\text{ост}}$  — объем горной породы после завершения реакций метаморфизма, км<sup>3</sup>.

Отсюда можно вычислить безразмерный объем дефекта геологического пространства:

$$\bar{W} = \frac{\Delta W}{W_{\text{исх}}} = \frac{W_{\text{исх}} - W_{\text{ост}}}{W_{\text{исх}}}. \quad (2)$$

Рассматривая этот процесс, отметим, что, если метаморфическую реакцию в некоторой породе записать как



и принять, что  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — содержания (в кг) минералов  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , вступающих в реакцию (соответственно в 1 т метаморфизируемой породы), то масштабы компенсационных просадок можно оценить по зависимости, учитывающей  $\Delta m$ , на которую сокращается первоначальная мощность  $m$  вследствие потери некоторой доли массы вещества (без учета изменения исходной пористости):

$$\Delta m = \frac{\Delta W}{S} = \frac{\vartheta F N W_{\text{исх}}}{S}, \quad (4)$$

где  $\vartheta = A/aM_1$  — масштабный коэффициент;  $A$  — масса минерала с минимальным долевым содержанием в 1 т породы (в кг), регламентирующим масштабы течения реакции;  $a$  — стехиометрическая константа в уравнении химической реакции метаморфизма для данного минерала в реакции взаимодействия минералов (3);  $M_1$  — килограмм-молекулярная масса данного минерала (в 1 т породы);

$$F = \frac{\frac{aM_1}{\gamma_1} + \frac{bM_2}{\gamma_2} + \frac{cM_3}{\gamma_3}}{\frac{A}{\gamma_1} + \frac{B}{\gamma_2} + \frac{C}{\gamma_3}},$$

где  $F$  — безразмерный объем реагирующих масс;  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $f$  — соответственно стехиометрические константы для других минералов и соединений, участников метаморфической реакции (3);  $M_2$ — $M_5$  — килограмм-молекулярные массы минералов  $\sigma_2$ — $\sigma_5$ ;  $\gamma_1$ — $\gamma_5$  — плотности минералов  $\sigma_1$ — $\sigma_5$ , кг/м<sup>3</sup>;  $f\sigma_6 \uparrow$  — флюидный продукт метаморфической реакции;

$$N = 1 - \frac{\frac{dM_4}{\gamma_4} + \frac{eM_5}{\gamma_5}}{\frac{aM_1}{\gamma_1} + \frac{bM_2}{\gamma_2} + \frac{cM_3}{\gamma_3}},$$

где  $N$  — безразмерный объем выделившейся флюидной составляющей;  $W_{\text{исх}}$  — начальный объем метаморфизируемого массива, км<sup>3</sup>;  $S$  — площадь его горизонтального сечения, км<sup>2</sup>.

Некоторые оценки свидетельствуют, что даже в случае однообразного минерального состава, но при переменной по площади плотности глубинного теплового потока будут иметь место разные скорости процессов деформации отдельных блоков и соответственно возникать поля напряжений на границах между этими блоками.

Ранее [20—22] была показана существенная сменяемость вещественного состава пород в пространстве седиментогенных структур. Это обстоятельство создает условия, когда даже при минералогическом подобии (но разном долевым соотношении одних и тех же минералов в 1 т породы) и равномерном по площади прогреве пород



должна возникать мозаичная структура усадки перерабатываемого субстрата, что в свою очередь должно воздействовать на скоротечные трансформации поля напряжений. К примеру, вследствие достаточно характерной реакции кремнезем+кальцит+флогопит в соответствии с приведенными зависимостями могут возникать различия в удельной деформации при переменных (от блока к блоку) массовых соотношениях указанных минералов (таблица).

Удельная деформация для минералогически однородных пород

| Реагирующие минералы, кг/т |         |          | Удельная усадка<br>$\Delta W/W_{\text{исх}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$ |
|----------------------------|---------|----------|----------------------------------------------------------------------|
| Кремнезем                  | Кальцит | Флогопит |                                                                      |
| 50                         | 150     | 800      | 0,0396                                                               |
| 150                        | 250     | 600      | 0,1175                                                               |
| 250                        | 350     | 400      | 0,1937                                                               |
| 500                        | 150     | 350      | 0,1370                                                               |
| 650                        | 300     | 50       | 0,0324                                                               |

Приведенный механизм воздействия на региональное поле напряжений—деформации далеко не единственный, функционирует наряду с другими, существенно более быстро меняющимися во времени процессами и рассматривается в данном случае как показательный случай, который можно оценить количественно.

*Флюидопродуктивная роль мгновенных внешних нагрузок на геологическую матрицу.* Сильно и быстро меняющееся поле напряжений—деформации в пределах флюидосферы Земли очень контрастно проявляется в режиме функционирования жидких фаз, заключенных в порово-трещинном пространстве горных пород. Теоретические исследования реакции геологической матрицы и заключенной в ее поровом пространстве жидкости (воды) на меняющиеся во времени нагрузки [13, 19, 25, 28, 31 и др.] свидетельствуют о том, что жесткость породы в конкретной точке массива определяет степень воздействия внешнего давления на вариации напоров (давлений) флюидной составляющей.

Расчетный метод оценки рассматриваемого цикла задач, предлагавшийся некоторыми исследователями [13, 31], представляет несомненную привлекательность, однако вследствие весьма значительной дискретности свойств горных пород [24] применение аналитических зависимостей при региональных масштабах геодинамических исследований не представляется возможным.

Из обширного эмпирического материала следует, что скорости геодинамически контролируемого изменения напоров—давлений подземных вод существенно превосходят темпы возможного фильтрационного перераспределения сформировавшейся аномалии. При этом на гидродинамический режим водонапорной системы существенным образом влияют характер и степень герметичности коллектора. Так, экспериментальными исследованиями [27] было показано, что давление подземной воды, запечатанной в полости тектонического разлома (с резко ограниченными возможностями гидравлической связи с внешними породами), в случае потери 45% исходного порового пространства может резко возрасти со 100 до 290 МПа.

В этом смысле каждое изменение геодинамической нагрузки на толщ, инициирующее перестроение поля напоров—давлений подземных вод (или других природных флюидов), можно рассматривать как *мгновенный акт* воздействия на среду-коллектор. То есть во всех подобных

случаях мы имеем дело с иным явлением, нежели общепринятый и широко изученный процесс фильтрации в пористых или трещинных средах, и речь следует вести не о миграции флюидных (водных) масс, а о скоротечных перераспределениях геогидродинамических давлений в геологическом пространстве. Такая петрофлюидная масса в естественном залегании представляет собой динамически безинерционную систему, которая «мгновенно» реагирует на любые изменения внешней нагрузки, приходящиеся на матрицу горных пород. Таким образом, в данной работе весь процесс деформирования горной породы под воздействием геодинамических нагрузок, по существу, *принимается подобным воздействию штампа на некоторую чувствительную матрицу, вследствие чего получается «негативный слепок» этого штампа или его реплика, представленного геогидродинамическим полем напоров.*

Опыт изучения режима ГГД-поля показывает, что имеют место как очень медленные перестроения структуры поля, так и весьма быстрые, порой мгновенные, изменения напряженно-деформированного состояния геологических массивов. Следует полагать при этом, что первая группа геодинамических процессов, видимо, имеющая глобальное развитие, обеспечивает энергетику восходящей миграции выдавливаемых флюидов, что не исключает также возможность латерального перераспределения жидких и газообразных продуктов в осадочно-метаморфических и осадочных толщах [5].

Быстрые и интенсивные изменения ГГД-поля прослеживаются практически во всех геодинамически активных регионах мира [3, 4, 8]. Особенно резкие изменения поля напряжений—деформации и характеризующих их избыточных геогидродинамических давлений регистрируются в периоды подготовки и реализации сильных и катастрофических землетрясений в пределах будущих эпицентральных зон [4]. При этом под термином «избыточное геогидродинамическое давление» понимается быстро изменяющаяся в реальном времени и отличающаяся (в меньшую или большую сторону — в зависимости от знака деформации) от ординарного для данной глубины гидростатического давления дополнительная нагрузка  $kPa$ , которую оказывает на смежные слабопроницаемые горные породы флюид, геодинамически выжимаемый из порового пространства. Как следует из приведенного определения, избыточное геогидродинамическое (сокращенно избыточное давление) помимо интенсивности может быть охарактеризовано знаком (+, –) и направлением (вектором) прилагаемой нагрузки.

Результаты ГГД-мониторинга по Спитакскому (1988 г.), Рачинскому (1991 г.) и Сахалинскому (2001 г.) землетрясениям, а также оценки темпов вариации избыточных давлений флюида в комплексах горных пород свидетельствуют о том, что в короткие периоды времени перед сейсмическими событиями в крупных регионах прослеживается многократная смена фаз: выдавливание воды из толщ (как следствие сильных сжимающих нагрузок) и поглощение воды породами, испытывающими растяжение, непосредственно перед разрядкой упругой энергии. При этом в пределах будущих эпицентральных зон происходят значительные изменения деформационной обстановки с контрастными сменами структурного плана ГГД-поля.

Так, в Дальневосточном регионе перед Сахалинским землетрясением (01.09.2001 г., 15 ч 07 мин, М 5,7) структурный план ГГД-поля изменялся многократно.

Эти процессы хорошо иллюстрируются серией карт избыточных геогидродинамических давлений (напоров)  $\Delta P_p$  ( $\Delta H_p$ ), построенных по результатам наблюдений служб ГГД-мониторинга Сахалина, Приморского и Хабаровского краев и др. В частности, в марте 2001 г. данный регион испытывал общее растяжение, причем структура с наибольшими деформациями растяжения (в терминах избыточ-



ных давлений) отмечалась на юге территории, включая о.Хоккайдо и Приморский край. Общерегionalное простираие короткоживущей структуры деформации в это время было практически субмеридиональным.

Карта ГГД-поля, полученная для 01 апреля 2001 г., свидетельствовала о дальнейшем развитии процессов растяжения, охвативших весь регион и сформировавших новый максимум, который совпал с северной частью о.Сахалин и примыкающими частями материка. В это время в регионе сформировалась желобообразная система короткоживущих структур растяжения с главной осью, ориентированной на северо-восток. Для мая 2001 г. была характерна резкая смена знаков деформации во всем регионе. В пределах ранее существовавших короткоживущих структур растяжения сформировалась массивная структура сжатия, и только на севере сохранились прежние деформационные тенденции.

В июне—июле структурный план вновь сменился, в результате чего в регионе зафиксированы две мощные системы структур деформации противоположных знаков: на севере — сильного сжатия, на юге — растяжения. Общий рисунок ГГД-поля имеет субширотную ориентировку. Можно полагать, что положение этих структур контролировалось одной из систем трансконтинентальных разломов, пересекающих древние платформы и складчатые пояса Дальнего Востока [14].

Наконец, в августе и начале сентября структурный план ГГД-поля сильно изменился и очень четко проявились две системы структур сильного сжатия: на западе — совпадавшая с сооружениями Сихотэ-Алиня и на востоке — тяготеющая к Камчатке. При этом западная система отличалась наибольшей интенсивностью избыточных давлений флюида  $\Delta P_p$ . Между этими системами располагалась субмеридиональная область растяжения (рис. 1).

Сразу после землетрясения структурный план ГГД-поля снова резко поменялся.

Дополнение, важное для понимания особенностей механизма функционирования ГГД-поля, дает полученная карта изоград избыточного давления флюида по состоянию на 00 ч 01.09.2001 г. Так, реконструкция поля градиентов  $I = \Delta P_p / \Delta L$  свидетельствовала о том, что в регионе в это время сформировались три крупных ядра-максимума ({1}, {2}, {3}), образующих в плане своеобразный несимметричный трилистник (рис. 2).

Один из максимумов {1} отмечен в северной части Татарского пролива (?). Ось этого максимума была ориентирована на юг—юго-восток. Максимум {2} тяготел к материковой части и, по-видимому, приходился на систему Большого Сихотэ-Алиня. Осева этого градиент-максимума была направлена на юго-восток. Максимум {3} занимал восточную половину о.Хоккайдо, а его ось, подобно первому, имела юг—юго-восточное направление. Место мнимого сопряжения векторов этих трех областей-максимумов совпадало с южной частью о.Сахалин, где в 15 ч 07 мин того же дня произошло землетрясение с магнитудой 5,7.

Учитывая приведенные выше положения, можно полагать, что рассмотренная ситуация не просто географическое (или геометрическое) совпадение, а отражает некоторый механизм подготовки и реализации сейсмотектонического разрывообразования. Поэтому в данном случае, видимо, уместнее говорить о наложении региональных стресс-гидродинамических направленных (векторных) нагрузок, сложившихся к рассматриваемому моменту времени, на существующую в регионе структурно-тектоническую обстановку. Именно это сочетание должно было вызвать деформационно-гидравлическое вспарывание предварительно нагруженных геологических толщ.

Сопоставление ситуаций, которые складывались при подготовке Спитакского и Рачинского землетрясений, с рассмотренной выше дает основание предполагать, что

обсуждаемая схема эволюции ГГД-поля отображает картину, в целом типичную для предсейсмического состояния и момента реализации самого землетрясения. Видимо, появляется основание говорить о некоторой физиономической характеристике эпицентральной области готовящегося землетрясения, которая отражает развитие гидроромеханических процессов в недрах.

*Геодинамическая фильтрация и комбинированная деформационно-гидравлическая модель образования разрывных дислокаций.* Как главный результат данных и других исследований, проведенных нами в ряде регионов мира, можно отметить обнаружение пространственно-временной неустойчивости стресс-флюидного режима недр обширных регионов. Эти процессы инициируют практически во всех глубинных зонах литосферы потенциальную геодинамическую фильтрацию, представляющую собой, по-видимому, одну из важнейших характеристик современной геологической жизни планеты [4, 5].

Рассматриваемый механизм геодинамической фильтрации не противоречит современным представлениям о потенциальном течении флюидов в коллекторе и дает представление еще об одном (геодинамическом) факторе, определяющем генерацию свободных флюидов и их потенциальную миграцию, прежде всего, в глубоких недрах. С учетом приведенных результатов и на основе анализа особенностей функционирования ГГД-поля становится возможным предложить для обсуждения *комбинированную деформационно-гидравлическую модель образования разрывных дислокаций*, которая в качестве существенных составляющих учитывает также основные элементы ранее предложенных моделей ДД и ЛНТ [16, 32].

Основные черты предлагаемой модели представляются в следующем виде:

деформационные процессы развиваются во флюидонасыщенной сфере упругой геологической среды, которая всем объемом реагирует на совокупное воздействие переменных во времени внешних и внутренних нагрузок;

флюидная составляющая представляет собой рабочий агент, с помощью которого реализуется быстрое перераспределение любых напряжений (давлений), возникающих в отдельных частях геосферы и в более глубоких частях планеты;

пьезопроводящая роль флюидной составляющей возрастает в глубь разреза, по мере роста герметичности геологических толщ. В погруженных частях литосферы, плотно перекрытых непроницаемыми слоями, эффективность передачи пьезовозмущений наиболее высока. На этих уровнях флюид (вода), заключенный в порах и межминеральных дефектах, работает как сплошной чувствительный пьезоприемник, реагирующий на все вариации напряжений в геологической матрице, но, вместе с тем, располагающий ограниченными возможностями сбрасывать возрастающие избыточные давления (напряжения) путем разгрузки «излишков» флюида во внешнее пространство;

во флюидонасыщенном геологическом пространстве постоянно функционирует сложная, переменная во времени совокупность локализованных источников и стоков (термины теоретической гидродинамики), периоды активности и характер пространственного размещения которых определяются режимом развития во времени поля напряжений—деформации;

в периоды подготовки сильного землетрясения во всех случаях, независимо от структурно-тектонических и гидрогеологических условий региона, прослеживается универсально действующий механизм быстрых и контрастных перераспределений геогидродинамического давления в недрах с соответствующей этому сменой структурного плана ГГД-поля;

быстрые смены поля геогидродинамических давлений и соответствующие ему распределения источников и стоков



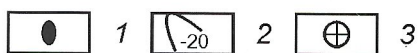
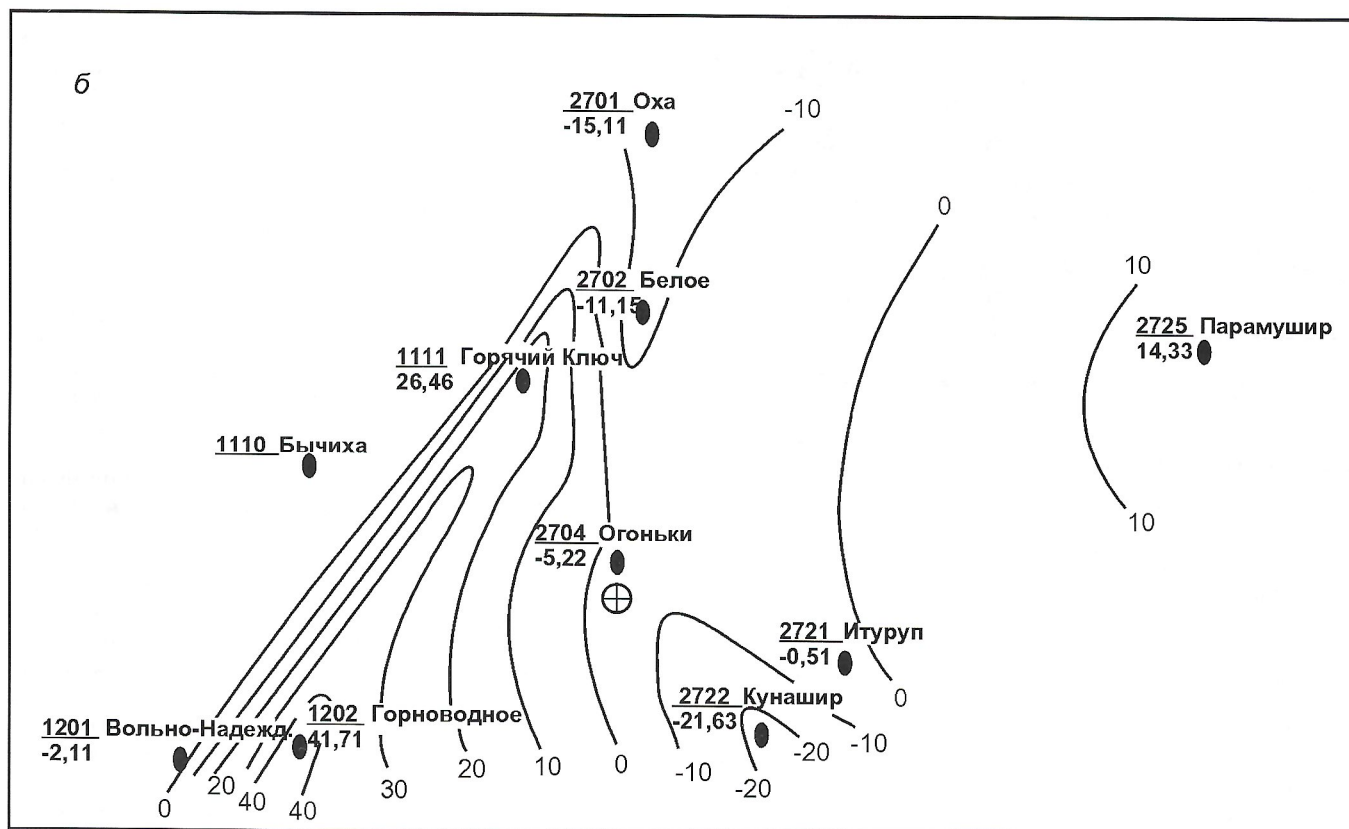
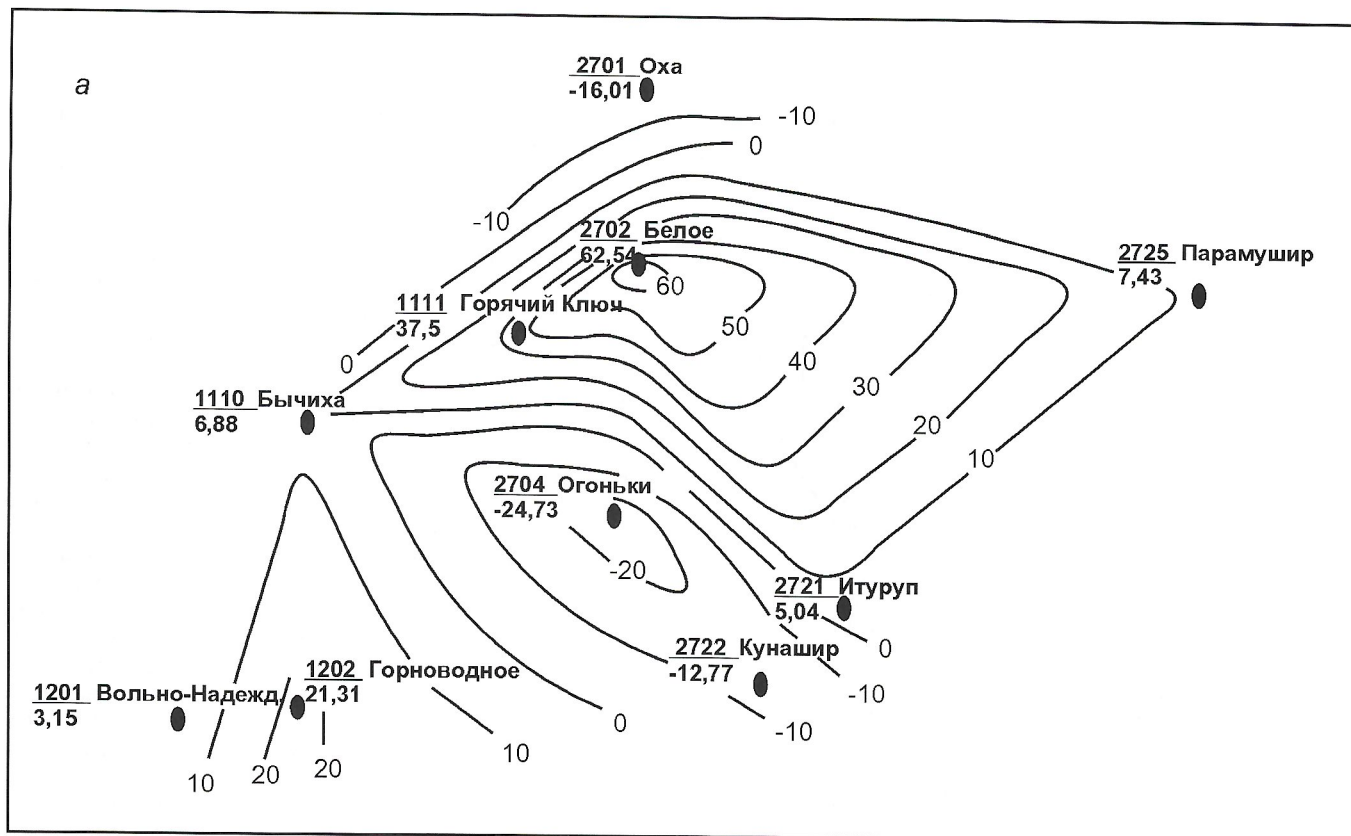


Рис. 1. Схемы ГГД-поля Дальневосточного региона по состоянию на 00 ч 01.06.2001 г. (а) и 01.09.2001 г. (б):

1 — пункт мониторинга (в числителе — номер, название, в знаменателе —  $\Delta P_p \cdot 10^6$ ); 2 — изолинии избыточного давления; 3 — эпицентр будущего землетрясения (15 ч 07 мин 01.09.2002 г.)



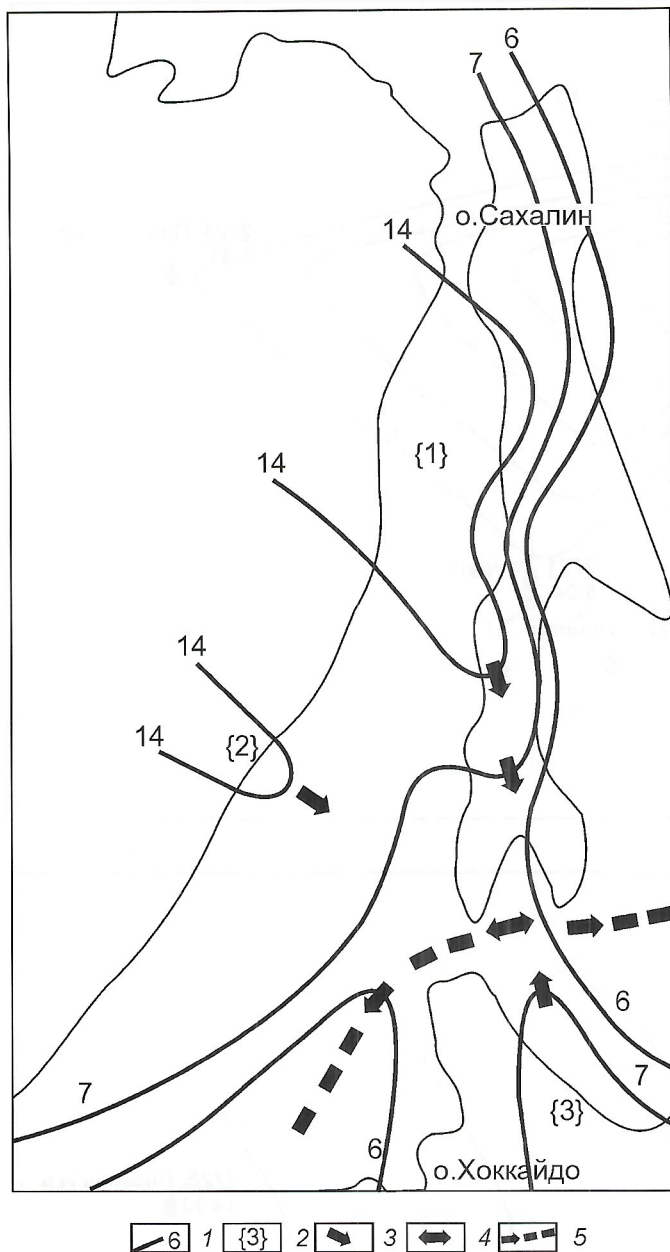


Рис. 2. Схема изоград избыточного давления Дальневосточного региона на 00 ч 01.09.2001 г. ( $\Delta P, 10^8/\text{км}$ ):

1 — изограда избыточного давления; 2 — номер ядра-максимума с высокими градиентами избыточного давления; 3 — направление главного вектора избыточных давлений; 4 — участок разделения направлений векторов избыточного давления; 5 — гипотетическая линия сдвига пород

предопределяют переменный во времени, противофазный режим «жизни» свободных флюидов в недрах: отжим флюида—его поглощение породами—отжим и т.д. Эти процессы сопровождаются изменениями градиентов избыточного давления и векторов потенциального перемещения свободной воды в пространстве геологического массива;

пространственное соотношение разнознаковых структур деформации, которое складывается непосредственно перед землетрясением, — два центра нагнетания (в терминах гидродинамики — источника), симметрично расположенных относительно зоны стока — узкой структуры растяжения, — обеспечивает условия максимального сложения сил. Здесь происходит одновременная, из обоих центров сжатия, передача геогидродинамического давления и,

вероятно, поступление высоконапорной флюидной компоненты в зону растяжения, ослабленную всеми предшествующими процессами деформации;

выполняя на заключительном этапе сейсмоподготовительного процесса роль смазки (уменьшающей силы сцепления между массивами) и одновременно мобилизованного сверхкритическими геодинамическими давлениями разрушающего снаряда сосредоточенного действия, массы воды расщепляют толщи в пределах ослабленных зон, вызывая гидроразрыв в горных породах и высвобождая накопленную упругую энергию.

Рассматриваемый ход процесса регистрируется глобально, а высокая тензочувствительность матрицы позволяет регистрировать аномальные эффекты, в т.ч. и на больших и весьма больших (не менее 1500 км) расстояниях от будущих эпицентральных зон. В этих условиях решение практически важной задачи по нахождению возможных эпицентральных зон может осуществляться на основе анализа поля градиентов избыточных давлений.

Определяющая роль геогидродинамики и эффекта гидроразрыва в образовании сейсмогенных разломов подтверждается рядом фактов, установленных при изучении землетрясений в различных регионах мира. Один из таких, весьма примечательных, показателей — стремительный рост уровней подземных вод в наблюдательных скважинах (иногда до 12 м за несколько суток до землетрясения), что часто сопровождается также повышением температуры воды [12]. Очевидно, что подобное развитие процесса можно было бы связывать с геодинамическим выдавливанием воды из пород и ее быстрым поступлением в приповерхностные зоны из глубоких этажей разреза.

Многим сильным сейсмическим событиям предшествует ряд характерных процессов, среди которых особый интерес представляют внезапно появляющиеся выходы парогазовых струй в местах, где с точки зрения классической подземной гидродинамики и гидрогеологии такие проявления существовать не могли. Так, за несколько суток до Спитакского землетрясения на вершине г.Маймех (Армения), господствующей над регионом, были отмечены газопаровые проявления. Ни в ближайших окрестностях, ни на больших расстояниях от этого места не было никаких высот, которые могли бы рассматриваться в качестве областей питания для упомянутых флюидных выходов. Последнее дает основание предполагать, что в регионе в этот период имели место процессы геодинамически активизированной фильтрации глубинных флюидов по каналам, уходящим в область с высокими уровнями напряжений—сжатия.

С процессами геодинамического выдавливания флюида, по-видимому, связано и другое характерное косейсмическое явление. Установлено, что в некоторых случаях непосредственно вслед за разрядкой сейсмической энергии в образовавшийся разлом устремляются значительные по объему водные и грязекаменные массы. Такой процесс, в частности, был зафиксирован в результате Хангайского землетрясения 1967 г. (Монголия), когда на дневной поверхности образовался разрыв протяженностью более 1000 км, и из него (вдоль всей его протяженности) хлынула водно-каменная масса. Излияние это так же быстро завершилось.

Если принять, что гидрогеологические условия вдоль тектонического нарушения столь значительной протяженности должны сильно меняться, а уровень в водонапорной системе — варьировать от места к месту, то зарегистрированный факт массового излияния подземных вод на поверхность объяснить иначе, как результатом гидравлического разрыва, не представляется возможным. Кроме того, если бы рассматриваемое проявление было связано с сейсмогенной «разгерметизацией» напорного водоносного горизонта, то в этом случае излияние подземных вод было





РОССИЙСКОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

# ДИПЛОМ

*Награждается журнал*  
**«Отечественная геология»**  
*за большой вклад в развитие*  
*геологической науки и практики,*  
*пропаганду достижений*  
*отечественной геологической школы и*  
*в связи с 70-летием со дня основания*

Президент РосГео

В.П. Орлов

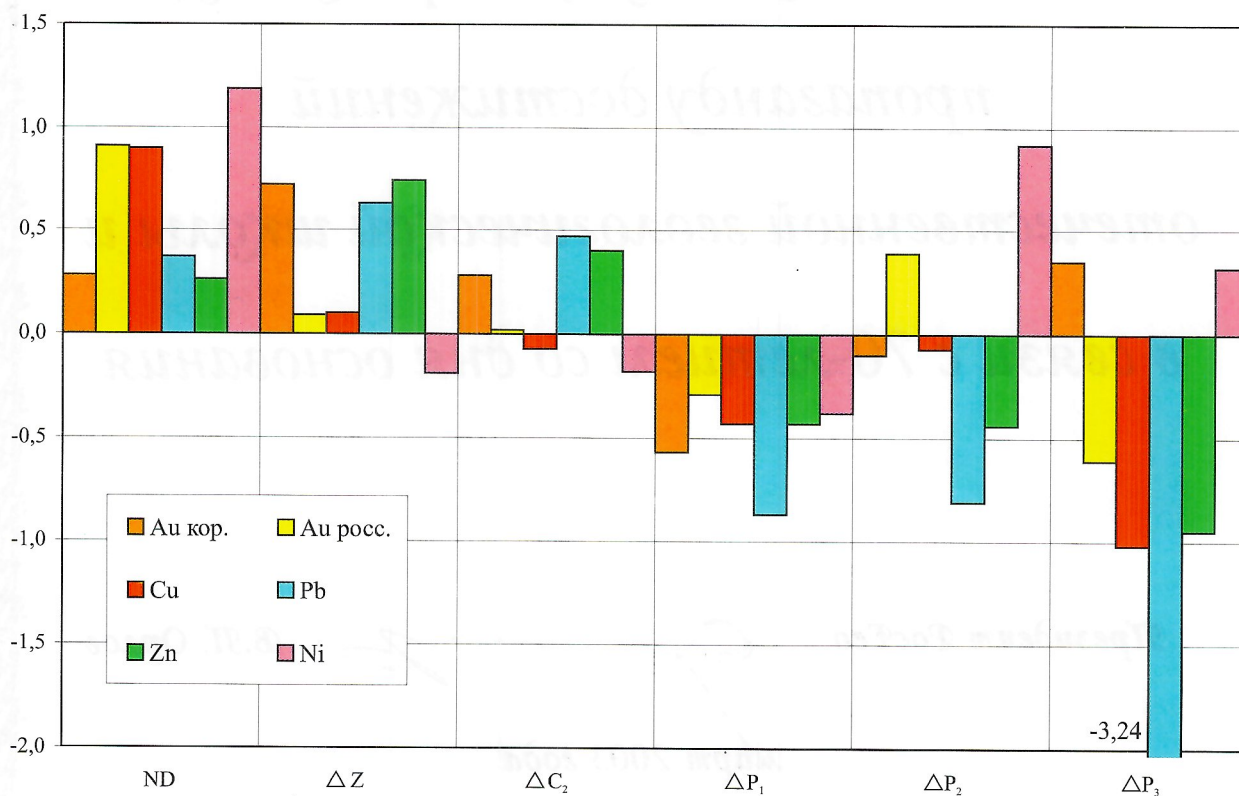
март 2003 года



Рисунки и таблицы к статье  
А.И.Кривцова, Б.И.Беневольского, Б.К.Михайлова  
“Ресурсы, запасы, стадийность геологоразведочных работ  
на твердые полезные ископаемые”

**I. Действующая стадийность ГРР, геолого-экономических и технико-экономических исследований  
в сопоставлении с категориями прогнозных ресурсов и запасов**

| Стадии геологического изучения и освоения месторождений                           | Стадии геолого-экономического и технико-экономического изучения |                                                |                                |                    |                                                    |                  | Вновь введенные стадии ГРР |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|------------------|----------------------------|
|                                                                                   | Оценка по средним показателям месторождений определенных типов  | Оценка по показателям месторождений - аналогов | ГЭО по укрупненным показателям | Временные кондиции | Постоянные разведочные и эксплуатационные кондиции |                  |                            |
|                                                                                   | Категории прогнозных ресурсов и запасов                         |                                                |                                |                    |                                                    |                  |                            |
|                                                                                   | P <sub>3</sub>                                                  | P <sub>2</sub>                                 | P <sub>1</sub>                 | C <sub>2</sub>     | C <sub>1</sub>                                     | ABC <sub>1</sub> |                            |
| 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых |                                                                 |                                                |                                |                    |                                                    |                  | Прогнозно-поисковая        |
| 2. Поисковые работы                                                               |                                                                 |                                                |                                |                    |                                                    |                  |                            |
| 3. Оценочные работы                                                               |                                                                 |                                                |                                |                    |                                                    |                  | Поисково-оценочная         |
| 4. Разведка месторождений                                                         |                                                                 |                                                |                                |                    |                                                    |                  |                            |
| 5. Эксплуатационные работы                                                        |                                                                 |                                                |                                |                    |                                                    |                  |                            |



**Рис. 1. Разности состояний запасов ( $\Delta Z$  -  $ABC_1C_2$ ,  $\Delta C_2$ ) и прогнозных ресурсов ( $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$ ,  $\Delta P_3$ ), благородных и цветных металлов за период 1983-1998 гг. в приведении к приросту запасов ( $R=1$ )**



## II. Сопоставление классификации прогнозных ресурсов и запасов

| Россия. Принятая классификация                                      |                                                        | Зарубежные страны                                             |                               | Россия. Предложения к проекту классификации                          |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Прогнозные ресурсы (выявленная часть металлогенического потенциала) |                                                        | Resources<br>(выявленная часть металлогенического потенциала) |                               | Ресурсы                                                              |
| Категории                                                           | Металлогенические таксоны                              | Категории                                                     | Металлогенические таксоны     | Категории                                                            |
| $P_3$                                                               | Рудные районы                                          | Предполагаемые<br>(inferred, speculated)<br>$S$               | Не выделяются                 | Металлогенический потенциал в количественном выражении (оценка) $MP$ |
| $P_2$                                                               | Рудные поля                                            | Выявленные<br>(indicated)<br>$I$                              | Не выделяются                 | Прогнозные ресурсы (выявленные) $P$                                  |
| $P_1$                                                               | Перспективные участки<br>(потенциальные месторождения) | Оцененные<br>(measured)<br>$M$                                | Не выделяются                 | Резервы (оцененные прогнозные ресурсы) $R$                           |
| Запасы                                                              |                                                        | Запасы                                                        |                               | Запасы                                                               |
| $C_2$<br>геологические                                              | Рудные тела,<br>месторождения                          | Возможные<br>(probable)<br>$Pb$                               | Рудные тела,<br>месторождения | $C_2$<br>Геологические<br>(возможные)                                |
| $BC_1$ ( $ABC_1$ )<br>промышленные                                  | Рудные тела,<br>месторождения                          | Доказанные или<br>подтвержденные<br>(proved)<br>$Pr$          | Рудные тела,<br>месторождения | $BC_1$ ( $ABC_1$ )<br>Промышленные<br>(доказанные)                   |

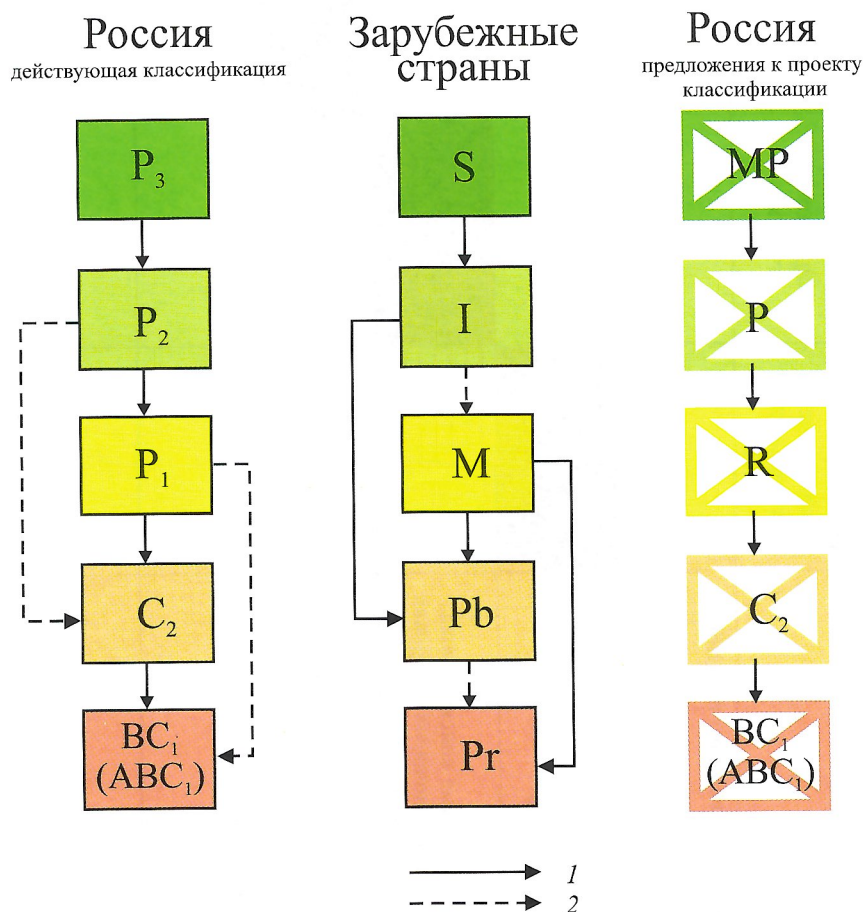


Рис. 2. Соотношения и соподчиненность различных категорий прогнозных ресурсов и запасов:

переходы (переводы): 1 - регламентированные, 2 - возможные; прогнозные ресурсы зарубежных стран:  $S$  - предполагаемые (спекулятивные),  $I$  - выявленные,  $M$  - измеренные; запасы:  $Pb$  - возможные,  $Pr$  - доказанные; прогнозные ресурсы России (предложения к проекту классификации):  $MP$  - металлогенический потенциал в количественном выражении,  $P$  - прогнозные ресурсы (выявленные),  $R$  - резервы (оцененные прогнозные ресурсы)



III. Проект структуры стадийности ГРР на ТПИ, схема к проекту концепции стадийности ГРР

| Этапы и стадии ГРР<br>(сокращенный перечень)                                                                                             |  | Основные результаты ГРР                                                     |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                                          |  | Категории ресурсов и резервов, оперативно учитываемые МПР РФ                |                                                                 |                                                        | Категории запасов, учитываемые ГКЗ РФ |                |                                     |
|                                                                                                                                          |  | Металлогенический потенциал рудных районов в количественном выражении<br>MP | Прогнозные ресурсы рудных полей и более локальных участков<br>P | Резервы локальных участков и отдельных рудных тел<br>R |                                       |                |                                     |
| Этап регионального геологического изучения, включая                                                                                      |  |                                                                             |                                                                 |                                                        | C <sub>2</sub>                        | C <sub>1</sub> | BC <sub>1</sub> (ABC <sub>1</sub> ) |
| прогнозно-металлогеническое картирование соенкой металлогенического потенциала в количественном выражении                                |  |                                                                             |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |
| Поисковый этап<br>целевые рекгноспирочные поиски с локализацией перспективных площадей до уровня рудных полей и более локальных площадей |  |                                                                             |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |
| поиски масштаба 1:50 000 с детализацией на перспективных участках, необходимой для обоснования постановки оценочных работ                |  |                                                                             |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |
| Оценочно-разведочный этап<br>оценка                                                                                                      |  |                                                                             |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |
| разведка                                                                                                                                 |  |                                                                             |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |
| эксплуатация                                                                                                                             |  |                                                                             |                                                                 |                                                        |                                       |                |                                     |

Дополнительные стадии

Новые стадии и категории



Обязательные результаты

Возможные дополнительные результаты



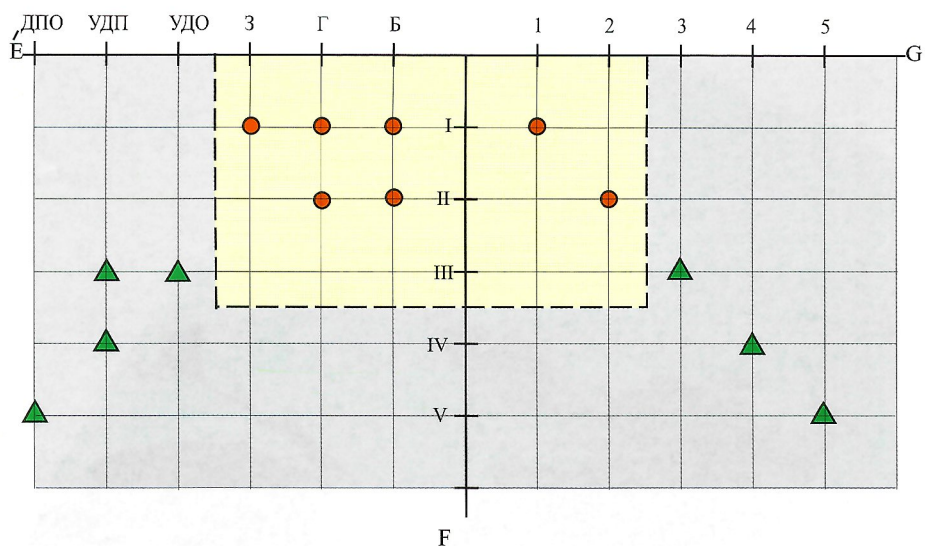


Рис. 5. Развертка осей координат по варианту А:

показаны границы полей запасов (кружки) и прогнозных ресурсов (треугольники); **ось G:** 1-2 категории запасов: 1 -  $ABC_1$ ,  $BC_1$ ,  $C_1$  (в зависимости от сложности строения месторождений), 2 -  $C_2$ , **категории прогнозных ресурсов:** 3 -  $P_1$ , 4 -  $P_2$ , 5 -  $P_3$ ; **ось F:** I - постоянные кондиции, II - временные кондиции, III - ГЭО по укрупненным показателям, IV - оценка по показателям конкретных объектов-аналогов, V - оценка по средним показателям месторождений соответствующего рудно-формационного типа; **ось E:** запасы: Б - балансовые, включая недоступные для использования по негеологическим причинам, Г - граничные, 3 - забалансовые, **прогнозные ресурсы:** УДО - условно доступные для постановки оценочных работ, УДП - условно доступные для постановки поисковых работ, ДП - доступные для выбора объектов прогнозно-поисковых работ

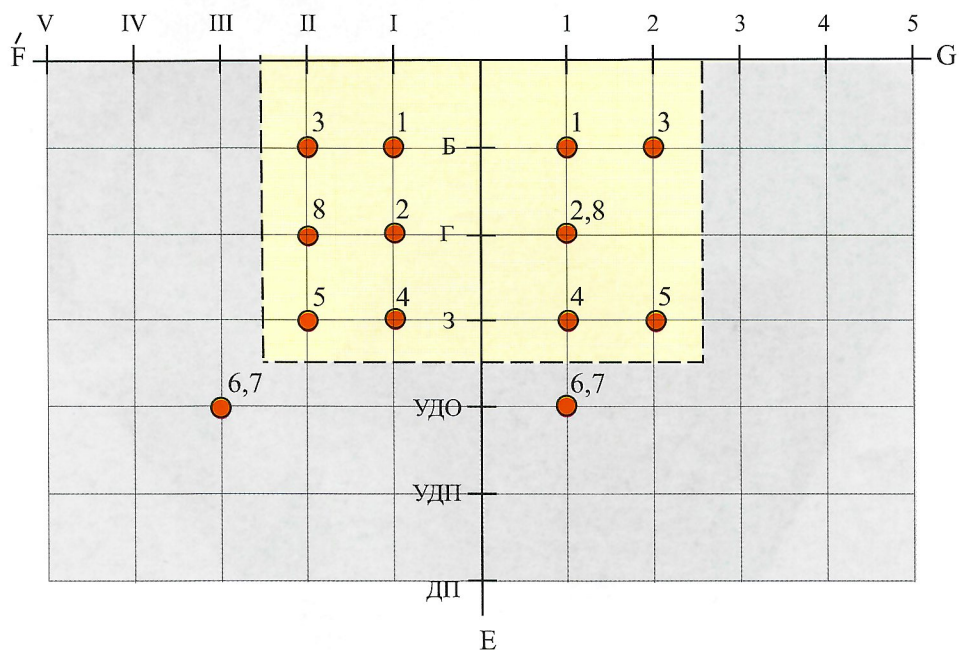
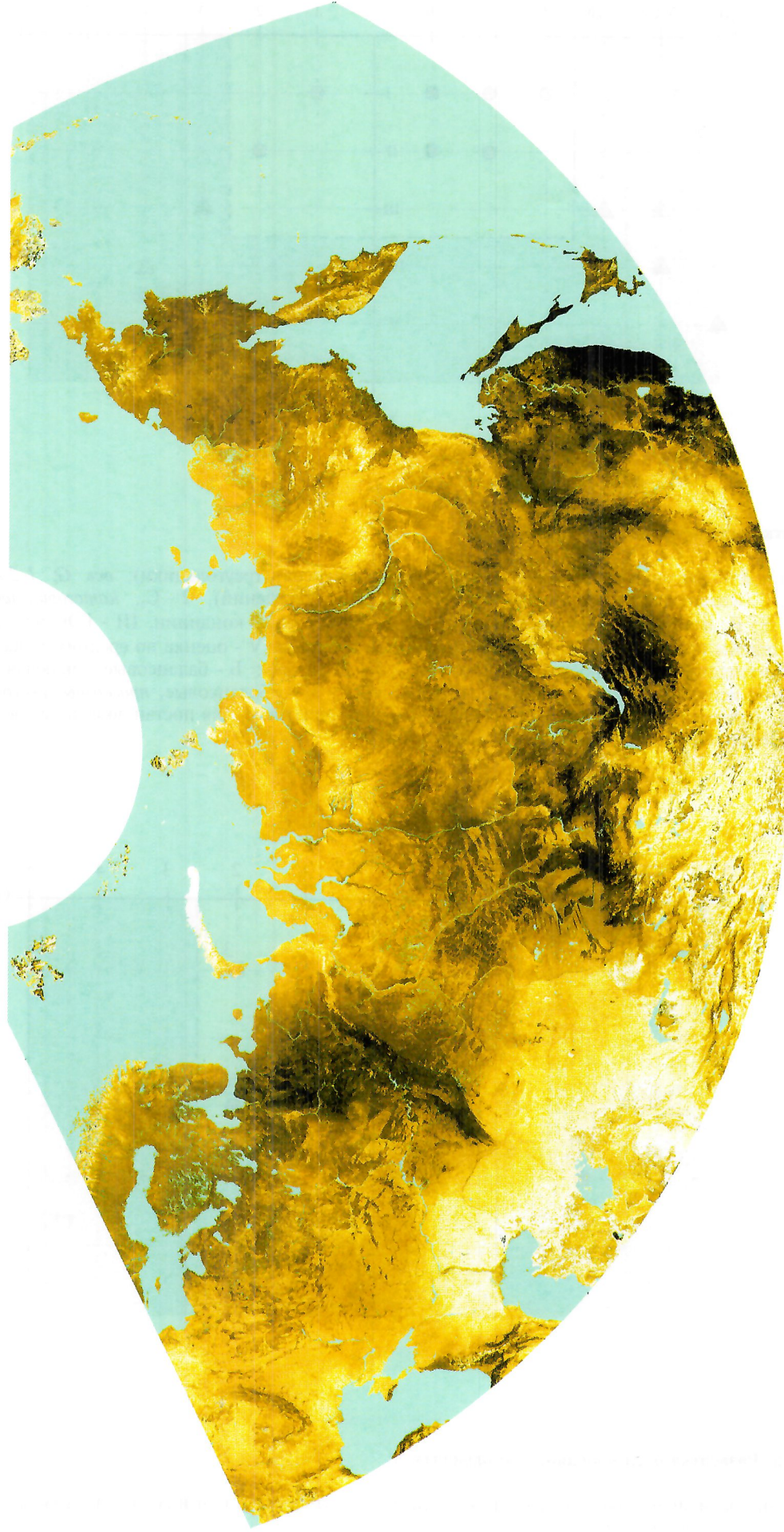


Рис. 6. Развертка осей координат по варианту Б:

показано размещение восьми месторождений золота (кружки) в границах полей запасов; остальные условные обозн. см. рис. 5



**Рисунок**  
к статье А.В. Перцова, В.С. Антипова, Г.В. Гальперова  
“Семь десятилетий аэрокосмических методов геологических исследований России”



**Космический образ России:**

создан ГУП “НИИКАМ” по данным первого канала (0,58-0,68 мкм) радиометров AVHRR, установленных на спутниках серии NOAA



Рисунки к статье  
 В.Л.Иванова, С.И.Андреева, Г.Э.Грикурова, Д.А.Додина, В.Д.Каминского, Г.Д.Лейченкова, Р.Р.Мурзина, О.Н.Супруненко  
 “Российская полярная и морская геология на пороге XXI века”

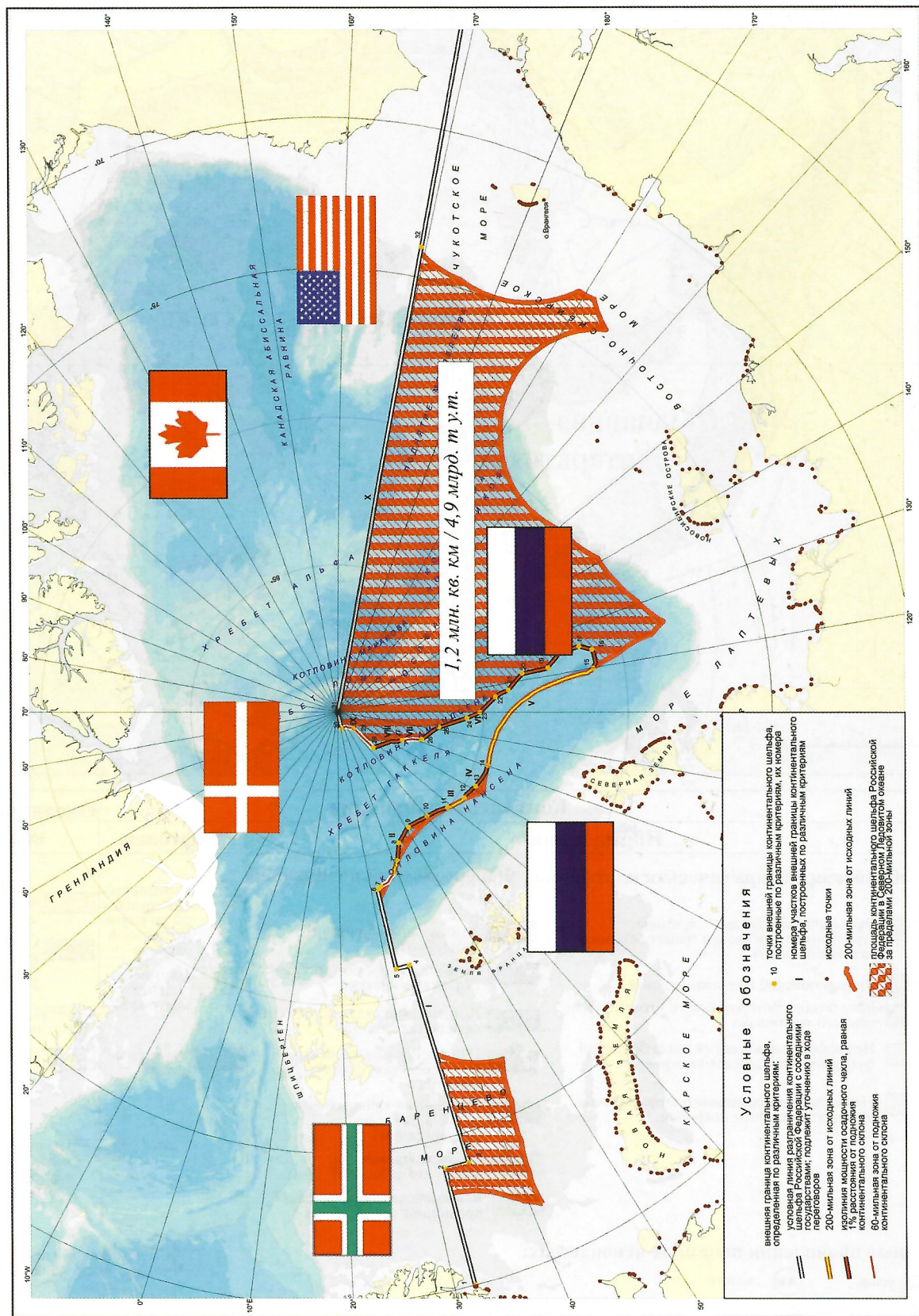
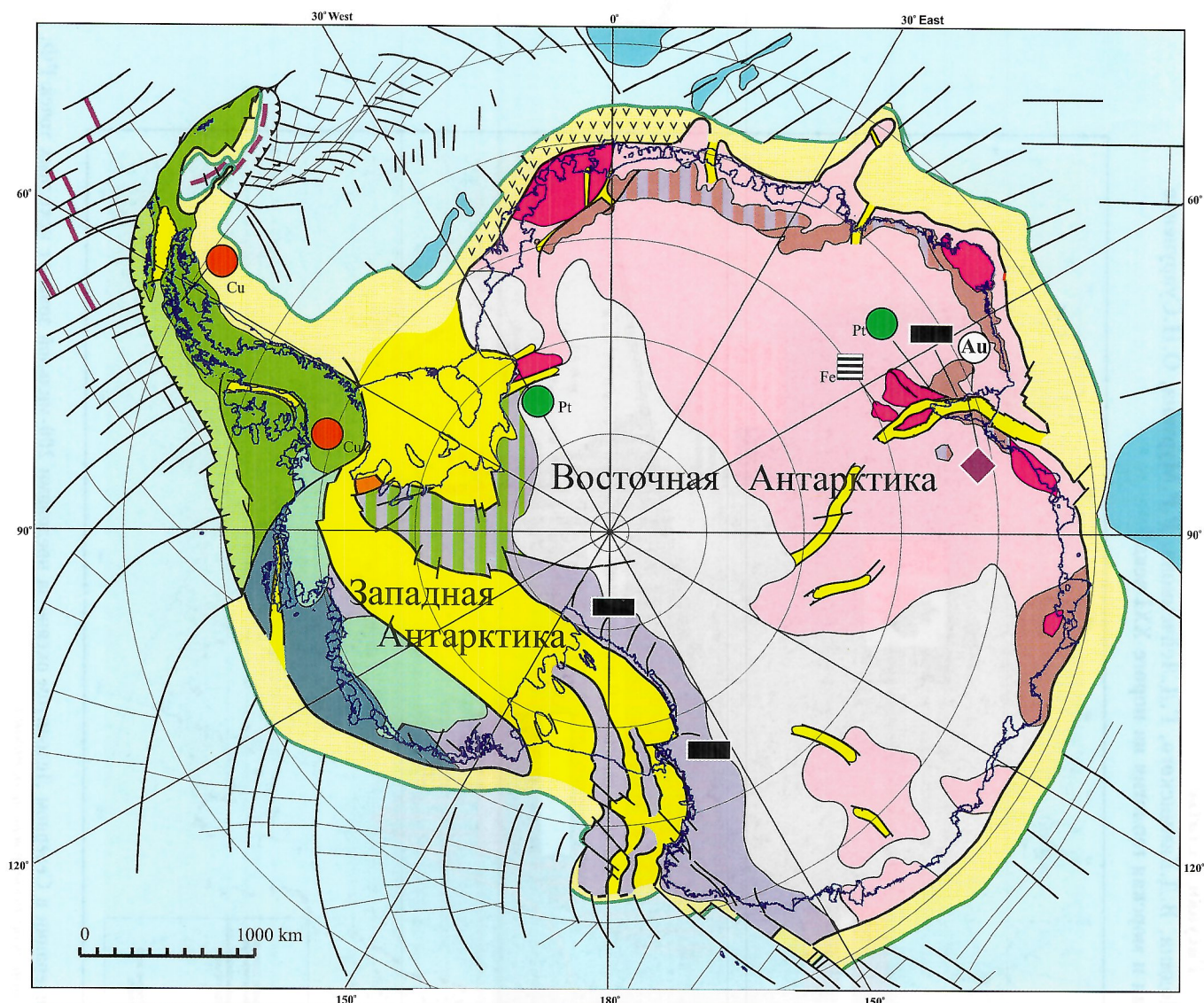


Рис. 2. Площадь расширения континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане за пределами 200-мильной зоны от исходных точек РФ, арктическое побережье и острова





| Континентальная кора                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                        | Океаническая<br>кора                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Нормальная                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Рифтовая                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Докембрийская Антарктическая платформа</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <div><div>▽▽▽</div><div>Вулканические комплексы на континентальной окраине</div><div>Внутриконтинентальные рифты</div><div>Окраинные рифты</div></div> | <div><div></div><div>Ложе океана</div><div>Океанические поднятия, хребты и др.</div><div>Трансформные разломы</div><div>Оси палеоспрединга</div><div>Граница континент-океан на дивергентной окраине</div><div>Граница континент-океан на палеоконвергентной окраине</div></div> |
| <b>Фанерозойский подвижный пояс</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <div>Антарктический щит</div> <div><div></div><div>Раннедокембрийские кратоны (гранулит-гнейсовые и гранит-зеленокаменные области)</div><div></div><div>Протерозойские подвижные пояса</div><div></div><div>Зоны позднепротерозойского - раннепалеозойского тектонизма</div><div></div><div>Недифференцированный докембрийский фундамент под ледовым покровом</div><div></div><div>Недифференцированные платформенные чехлы под ледовым покровом</div></div> | <div><div></div><div>Выступ докембрийского фундамента</div><div></div><div>Раннепалеозойская (росская) складчатая система</div><div></div><div>Раннемезозойская (элсуэртская) складчатая система</div><div></div><div>Палеозойско-мезозойская (амундсенская) складчатая система</div><div></div><div>Мезозойско-кайнозойская складчатая система (Антарктанды)</div><div></div><div>Позднекайнозойский преддуговой бассейн</div><div></div><div>Кайнозойская вулканическая провинция</div></div> |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <div>Главные проявления полезных ископаемых:</div> <div><div></div><div>уголь</div><div><div>Au</div><div>золото</div></div><div><div>Fe</div><div>железо</div></div><div><div>Cu</div><div>медь</div></div><div><div>Pt</div><div>платина</div></div><div><div></div><div>алмазы</div></div></div> <div><div></div><div>Главные тектонические нарушения</div></div>                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Рис. 3. Схема тектонического районирования Антарктики



бы существенно более длительным, а сам разлом, возможно, превратился бы в стационарную гидрогеологическую область разгрузки.

Другой типичный пример влияния геодинамических нагрузок на приповерхностные водосодержащие толщи — феномен сейсмогенного разжижения слабо литифицированных толщ в момент землетрясения, в результате чего происходит разуплотнение песчано-глинистых образований. Этот механизм наиболее близок рассмотренному выше, однако отличается от него малой глубиной процессов, приводящих к нарушению исходной сплошности горных пород. Для него типичны также сравнительно ограниченные линейные размеры площадей, пораженных разжижением.

Наконец, к процессам геодинамической активизации, несомненно, должны быть отнесены и все проявления грязевого вулканизма. В этих случаях восходящая геодинамическая фильтрация флюида оказывается тем механизмом, который уменьшает в недрах объем жидкости как рабочего тела и, «сравливая» через дренажные системы грязевулканических построек упругую энергию, снимает в протяженных массивах горных пород критические напряжения — деформации.

В настоящее время вопрос об ареале влияния такого дренажного эффекта на уменьшение сейсмичности территории не изучен. Вместе с тем, судя по имеющимся в настоящее время данным, характеризующим уровень активизации грязевулканической деятельности в пределах Таманского полуострова (Краснодарский край), можно предположительно сделать вывод о весьма значительных площадях, которые в результате дренажного эффекта оказываются «защищенными» от сейсмической опасности. В частности, начавшаяся образованием грязевого острова вулкана Голубицкий (май 2000 г.) фаза активизации продолжилась в течение 2001 г. и достигла максимума зимой — весной 2002 г., когда была зарегистрирована серия взрывов грязевых вулканов Западные Цимбалы, Гнилая, Курчанский (14.02.2002; 02.03.2002; 06.04.2002; 10.04.2002; 20.04.2002 — данные ПГО Краснодаргеология, В.М. Шереметьев). Вместе с тем, по сейсмологическим данным, весь этот период в пределах территории, охватывающей Крымско-Кавказский регион, а также страны Закавказья, отмечена весьма низкая сейсмическая активность.

Обращаясь к накопленным к настоящему времени мировым каталогам землетрясений, следует отметить, что среди всей массы сейсмических событий на долю землетрясений с гипоцентрами на глубинах 10—33 км приходится подавляющая часть. Даже принимая во внимание то, что верхние и нижние ограничения указанного интервала взяты в качестве достаточно условных границ и что вся масса сейсмических событий генерируется *внутри* этого интервала, подчеркнем, что для рассматриваемых глубин в основном характерно развитие сильно уплотненных осадочных и осадочно-метаморфических горных пород. Эти толщи содержат в поровом пространстве большие объемы воды и других природных флюидов.

Такая многокилометровая толща сама по себе мощное герметизирующее перекрытие, обеспечивающее высокие давления флюида, которые формируются рядом природных факторов, в т.ч. переменными во времени геодинамическими нагрузками. На заключительной фазе сейсмоподготовительного процесса по мере роста геодинамической активности происходит увеличение давления флюидной составляющей («подкачка» энергии). После превышения этим давлением предела длительной прочности напряженной горной породы свободные водные массы становятся фактором разрушения геологического массива.

Данная публикация подводит итог результатам почти 25-летних исследований, выполнявшихся под нашим руководством в СССР и России и посвященных изучению

особенностей взаимодействия флюидной (водной) и твердой составляющих геологических толщ в условиях постоянно действующего в недрах поля напряжений — деформации. Открытие новой разновидности геофизического поля — ГГД-поля Земли, разработка технологии и создание в геодинамически активных регионах страны сети ГГД-мониторинга, подготовка большого круга специалистов на местах и во ВСЕГИНГЕО — обеспечили в эти годы получение исключительно интересной и ценной информации о поведении жидких и газообразных компонентов в пределах верхней части флюидосферы; характере некоторых процессов эволюции твердой фазы при подготовке мощных геодинамических событий; мере дальнего действия деформационных возмущений, возникающих в литосферных толщах и многое другое.

Накопление столь ценной информации стало возможным лишь благодаря заинтересованной и творческой работе практически всех специалистов, участвовавших в разное время в исследованиях по данной проблеме. Среди тех, кто внес особенно большой вклад в поиски новых, нередко парадоксальных, но очень важных практических решений, следовало бы в первую очередь назвать Е.А.Попова, А.М.Лыгина, Э.П.Потемку, С.К.Стажило-Алексеева, К.С.Мельника, Г.И.Меликадзе, Л.Д.Пруцкую, В.М.Шереметьева, В.С.Гончарова. Эти высококлассные исследователи сделали многое из того, что обеспечило создание и успешное функционирование на территории страны представительной сети ГГД-мониторинга, разработку программно-математических средств, необходимых для обработки значительных массивов информации, проверку новых методических решений и практическое их применение в полевых условиях. Именно на такой основе российские геологи, преодолевая резкий дефицит средств, в настоящее время успешно реализуют мониторинг в пределах практически всех геодинамически активных регионов страны, в т.ч. и на самых дальних и труднодоступных станциях о.Кунашир, Итуруп, Парамушир.

В ряде соседних Независимых Государств, несмотря на разрушительные процессы, следовавшие после 1991 г., функционируют Национальные службы ГГД-мониторинга, созданные еще во времена СССР. В настоящее время в соответствии с двусторонними соглашениями между российским центром ГГД-мониторинга и соответствующими центрами мониторинга Грузии и Азербайджана осуществляется полезный активный обмен информацией. Аналогичные соглашения с Украиной и Казахстаном ждут своей очереди.

На основе соглашений о научно-техническом сотрудничестве по рассматриваемой проблеме реализованы совместные исследования со специалистами геологических служб США, Японии, Дании и др. Такой широкий спектр международного взаимодействия служит важным стимулом для лучшего понимания природы сложных многофункциональных процессов во флюидосферных толщах и для оценки всех возможностей мониторинга ГГД-поля, как инструментария при исследованиях этих процессов.

С учетом уже имеющегося опыта надо полагать, что международное сотрудничество в рассматриваемой области окажется важным также для разработки совместных систем защиты от разрушительных геодинамических катастроф, послужит распространению накопленных знаний и внедрению их в практику других заинтересованных наций. Вместе с тем, следует понимать со всей определенностью, что далеко не все тонкие механизмы и факторы такого многоаспектного явления, каким является ГГД-поле, исследованиями последних лет удалось выявить и познать. Этому, видимо, должны быть посвящены дальнейшие углубленные проработки с привлечением соответствующих средств и высоко профессиональных коллективов практиков и ученых, а со временем, возможно, и международных исследовательских центров.



Несмотря на отмеченное выше, важно подчеркнуть, что полученные новые данные по некоторым ранее мало изученным вопросам поведения жидких и газообразных компонентов в пределах верхней части флюидосферы уже сейчас открывают дополнительные возможности для применения исследований ГГД-поля Земли в решении прикладных задач геодинамического анализа и прогноза, а также некоторых генетических, транспортно-минерогенических и геодинамических проблем современной геологии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вартанян Г.С.* Роль процессов регионального метаморфизма в формировании некоторых типов минеральных вод и их провинций // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1968. Вып. 3. Т. 18. С. 99—105.
2. *Вартанян Г.С.* Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов. — М.: Недра, 1977.
3. *Вартанян Г.С., Бредехофт Дж.Д., Розлоффс Э.* Гидрогеологические методы исследований тектонических напряжений // Советская геология. 1992. № 9. С. 3—12.
4. *Вартанян Г.С.* Региональная система геодинамического мониторинга в проблеме устойчивого развития государств сейсмоопасных провинций мира // Отечественная геология. 1999. № 2. С. 37—45.
5. *Вартанян Г.С.* Флюидосфера и эндодренажные системы Земли как ведущие факторы геологической эволюции // Отечественная геология. 2000. № 6. С. 14—22.
6. *Вартанян Г.С., Юсупова И.Ф.* Геодинамические проявления флюидогенерационных процессов в недрах // Разведка и охрана недр. 1999. № 1. С. 49—51.
7. *Вартанян Г.С., Юсупова И.Ф.* Особенности формирования трещинных зон во флюидогенерирующих толщах // Докл. РАН. 2000. Т. 370. № 3. С. 353—356.
8. *Вартанян Г.С., Кристенсен О.В., Госк Э., Цукуда Э.* Новый региональный метод прогноза сильных землетрясений // Отечественная геология. 2002. № 1. С. 3—15.
9. *Вартанян Г.С.* Геодинамический мониторинг и прогноз сильных землетрясений // Отечественная геология. 2002. № 2. С. 62—65.
10. *Вассоевич Н.Б.* Происхождение нефти // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1975. С. 3—23.
11. *Геодинамическая карта СССР и прилегающих акваторий.* М-б 1:2 500 000 / Ред. Л.П.Зонненшайн, Н.В.Межеловский, Л.М.Натапов. — М., 1989.
12. *Гидродинамические предвестники землетрясений.* — М.: ИФЗ АН СССР, 1984.
13. *Добровольский И.П.* Механика подготовки тектонического землетрясения. — М.: Наука, 1984.
14. *Космогеологическая карта СССР.* М-б 1:2 500 000 / Гл. ред. Е.А.Козловский. — М., 1982.
15. *Монахов Ф.И., Ашихмин В.П., Хантаев А.М.* и др. Упругие деформации, землетрясения и предвестниковые эффекты // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 10. С. 96—99.
16. *Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г.* Основы физики очага и предвестники землетрясений // Физика очага землетрясения. М., 1975. С. 6—29.
17. *Неручев С.Г.* и др. // Условия нефтегазообразования на больших глубинах. М., 1988. С. 20—31.
18. *Осика Д.Г.* Флюидный режим сейсмически активных областей. — М.: Наука, 1981.
19. *Полубаринова-Кочина П.Я.* Теория движения грунтовых вод. — М.: Гостехиздат, 1952.
20. *Ронов А.Б.* Органический углерод в осадочных породах // Геохимия. 1958. № 5. С. 409—423.
21. *Ронов А.Б.* К послекембрийской геохимической истории атмосферы и гидросферы // Геохимия. 1959. № 5. С. 397—409.
22. *Ронов А.Б., Хаин В.Е.* Триасовые литологические формации мира // Советская геология. 1961. № 1. С. 27—48.
23. *Садовский М.А., Монахов Ф.И., Семенов А.Н.* Гидродинамические предвестники Южно-Курильских землетрясений // Докл. АН СССР. 1977. Т. 236. С. 313.
24. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* О свойствах дискретности горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. № 12. С. 3—18.
25. *Щелкачев В.Н.* Основные уравнения движения жидкости в упругой пористой среде // Докл. АН СССР. 1946. № 2. С. 103—106.
26. *Allegrì L.* et al. Radon and tilt anomalies detected before the Irpina (South Italy) earthquake of November 23, 1980 at great distances from epicenter // Geophys. Res. Lett. 1983. Vol. 10. P. 269.
27. *Blanpied M.L., Lockner D.A., Byerlee J.D.* An earthquake mechanism based on rapid sealing of faults // Nature. 1992. Vol. 358. P. 574—576.
28. *Bredehoeft J.D.* Response of well-aquifer systems to earth tides // J. Geophys. Res. 1967. Vol. 72. P. 3075—3087.
29. *Chi-Yu King.* Radon emanation on the San Andreas fault // Earthquake information bulletin. 1978. Vol. 10. № 4.
30. *Fyfe W.S., Price N.J., Thompson A.B.* Fluids in the earth's crust. Developments Geochemistry 1. 1978. Elsevier Scientific. NY.
31. *Rice J.R., Cleary M.P.* Some basic stress diffusion solutions for fluid-saturated elastic porous media compressible constituents // Rev. Geophys. Space Phys. 1967. Vol. 14. P. 227—241.
32. *Sholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P.* Earthquake prediction: A physical basis // Science. 1973. Vol. 181. P. 803—810.
33. *Wakita H.* Water wells as possible indicators of tectonic strain // Science. 1975. Vol. 189. P. 553—555.



## Уральская сверхглубокая скважина — окно в глубины складчатых поясов

Ю.Г.ЛЕОНОВ (ГИН РАН), Л.А.ПЕВЗNER (ФГУП НПЦ «Недра»), Г.Н.САВЕЛЬЕВА, М.Д.ХУТОРСКОЙ (ГИН РАН)

Уральская сверхглубокая скважина (СГ-4) расположена на Среднем Урале, в 5 км западнее г.Верхняя Тура, в Кабанско-Красноуральском междурудном районе. Эта скважина представляет собой один из важнейших инструментов глубинных исследований недр России и объект мультидисциплинарного изучения литосферы Урала. В 1986—2001 гг. СГ-4 оказалась центром международного сотрудничества и детальных историко-геологических исследований Тагильского широтного сегмента Урала: здесь проведено комплексное фундаментальное изучение геологии, геофизики, геохимии, литологии и геохронологии. Высокий научный уровень исследований обеспечивали также геолого-геофизические, в т.ч. глубинные сейсмические работы по системе диагональных профилей в районе СГ-4 и профилям «Гранит» и «ESRU».

Одна из основных задач глубинного бурения состоит в получении прямой информации о строении и составе комплексов, слагающих верхнюю часть разреза земной коры. Эта задача особенно важна в экономически освоенных районах и тех областях, где в силу плохой обнаженности картировочные геологические материалы не позволяют сделать достаточно определенной интерпретации структуры. Четкое представление о строении потенциально рудоносных комплексов совершенно необходимо для решения прикладных вопросов в этом промышленно важном регионе России. Только в результате бурения сверхглубокой скважины может быть установлена полная стратиграфическая или тектоно-стратиграфическая последовательность пород в многокилометровых разрезах, определены мощности литолого-стратиграфических единиц и получен комплекс точно привязанных геолого-геофизических параметров. В ходе бурения каждый новый километр проходки раздвигает горизонты познания о глубинном строении Земли, физических параметрах вещества на больших глубинах и нередко меняет существующие представления об этих вопросах и, как следствие, опирающихся на них геологических концепциях. По существу, при бурении происходит экспериментальная проверка теоретических, модельных представлений о строении того или иного участка земной коры.

Сверхглубокое бурение на Урале играет исключительную роль для постановки и решения фундаментальных проблем геологии. Целый ряд характеристик складчатых сооружений отличает Урал от палеозойских орогенных поясов, таких как, например, Аппалачи, Каледониды и Варискиды [41, 45]: 1) аномальная мощность коры, которая достигает 55 км в областях, расположенных восточнее современного топографического максимума [3, 11, 14 и др.]; 2) аномально низкий тепловой поток [4, 24, 32, 33]; 3) исключительно широко распространенные офиолитовые и островодужные комплексы, формирующие огромные и тектонически слабо дезинтегрированные аллохтоны [17, 43]; 4) сравнительно слабое развитие высокотемпературных метаморфитов [42].

Вероятность расшифровки этих особенностей и решения общих проблем формирования складчатых поясов планеты значительно возрастает при использовании комплекса данных, полученных при бурении сверхглубоких скважин. В данной статье обсуждаются основные результаты и дальнейшие задачи сверхглубокого бурения на Урале.

**Структурно-геологические исследования.** Региональные и окологлубинные структуры. В геологическом отношении СГ-4 расположена в 10 км восточнее западной границы Тагильской структурно-формационной зоны (рис. 1).

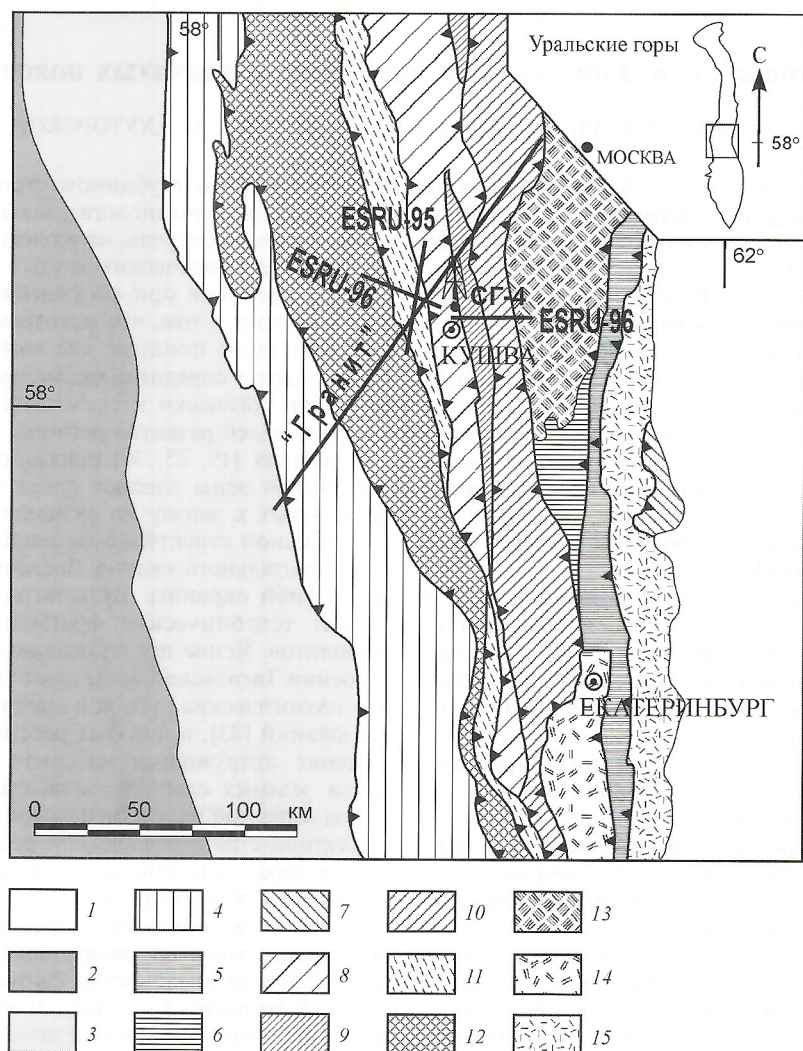
Представления о глубинном строении Тагильской зоны (мегазоны, по терминологии последних работ [19]) основаны, в первую очередь, на геологических картировочных, буровых и геофизических данных [1, 2, 12, 26, 29, 44]. Серьезная проблема при обсуждении глубинного строения Урала состоит в том, что некоторые авторы [12 и др.] совмещают такие понятия, как «эвгеосинклинальный прогиб» и «центр спрединга океанского дна», что приводит к созданию логически несвязанных, внутренне противоречивых моделей развития региона.

В работах [19, 25, 36] показано, что комплексы пород Тагильской зоны слагают пакет тектонических пластин, надвинутых к западу на вулканогенно-осадочные толщи Салатимской структурно-фациальной зоны и отложения континентального склона Восточно-Европейской континентальной окраины. Вулканыты Салатимской зоны содержат тектонические фрагменты раннепалеозойских офиолитов. Ясное представление о покровно-надвиговом строении Тагильской зоны дают также материалы последних геологических съемок и специальных структурных исследований [23], в которых рассмотрено аллохтонное положение интрузивных массивов Платиноносного пояса среди зеленых сланцев, metabазальтов и metabазальтовых пород западной части Тагильской зоны.

Тектоно-стратиграфический разрез палеозойских комплексов пород западной части Тагильской зоны представлен следующим образом (с запада на восток и снизу вверх по разрезу): 1) зеленокаменные толщи *вийской* свиты предположительно ранне-среднеордовикского возраста; 2) metabазальты и дациты *кабанской* свиты поздне-среднеордовикского (?) возраста (2—2,5 км); 3) зеленые сланцы и флишиды с пачками базальт-андезит-риодацитовых вулканитов *павдинской* свиты лландовери—венлока (общая мощность толщи до 2 км); 4) андезитобазальты, базальты, дациты и мощные толщи вулканокластических образований с резко подчиненными осадками *именновской* свиты силурийского (поздний венлок—ранний лудлов) возраста (3 км), характеризующей собственно островодужные комплексы Тагильской зоны. В центральной части полосы выходов *именновской* свиты и была заложена Уральская СГ-4. Восточнее полосы выходов пород *именновской* свиты распространены породы *гороблагодатского* андезит-трахибазальтового комплекса лудлова—пржидолия (1,7 км) и *туринского* трахибазальт-трахиандезитового комплекса пржидолия—локхова (1—1,5 км). Среди этих комплексов, относимых к Красноуральской подзоне, обнажены Салдинский метаморфический комплекс и ультраосновные массивы Серовско-Маукского офиолитового пояса.

В зеленокаменных породах, карбонатно-терригенных образованиях шельфа и континентального склона, обнаженных в этом регионе к западу от массивов Платиноносного пояса (например, Нижнетагильского, Арбатского и Качканара), а также в островодужных комплексах, залегающих к востоку от них, установлены следы полистадийных деформаций [23]. Первые две стадии связаны с формированием покровной структуры: вначале в условиях субгоризонтального сдвига сформировалась послойная сланцеватость в парагенезе с будинаж-структурами, а затем в том же поле напряжений сланцеватость была смята в наклонные асимметричные, сжатые до изоклинальных, складки западной вергентности. Шарниры складок погружаются в юг—юго-восточных румбах под углами 30—40°. В парагенезе с покровами в условиях зеленосланцевой фации формировались крупные наклонные складки, воз-





**Рис. 1. Схема геологического строения района СГ-4 и локализация сейсмических профилей, по данным работы [36] и с использованием материалов В.Н.Пучкова:**

1 — чехол Западно-Сибирской платформы (МЗ—КЗ); 2 — чехол Восточно-Европейской платформы (МЗ—КЗ); 3 — Уральский передовой прогиб (С—Р); 4 — Западно-Уральская мегазона (D—С); Восточно-Уральская мегазона, зоны: 5 — Медведево-Арамилская (О—С), 6 — Петрокаменская (D), 7 — Алапаевская (S—С); Тагильская мегазона, зоны: 8 — Кумбинская (O<sub>3</sub>—S<sub>2</sub>), 9 — Центрально-Тагильская (S<sub>2</sub>—D<sub>2</sub>), 10 — Красноуральская (O<sub>3</sub>—S<sub>2</sub>); 11 — Главный Уральский разлом (O<sub>1</sub>—D<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>?); 12 — Центрально-Уральская мегазона (PZ<sub>3</sub>—D<sub>2</sub>); 13 — интрузии Салдинской зоны (S, P—С); 14 — Сысерть-Ильменогорская зона (PZ<sub>3</sub>?—D); 15 — Мурзинско-Адуйская зона (PZ<sub>3</sub>?—D); «Гранит», ESRU-95, -96 — линии сейсмических профилей

можно, первоначально лежащие, и новая сланцеватость, которая имеет главное значение при картировании и в целом конформна тектоническим контактам аллохтонных комплексов.

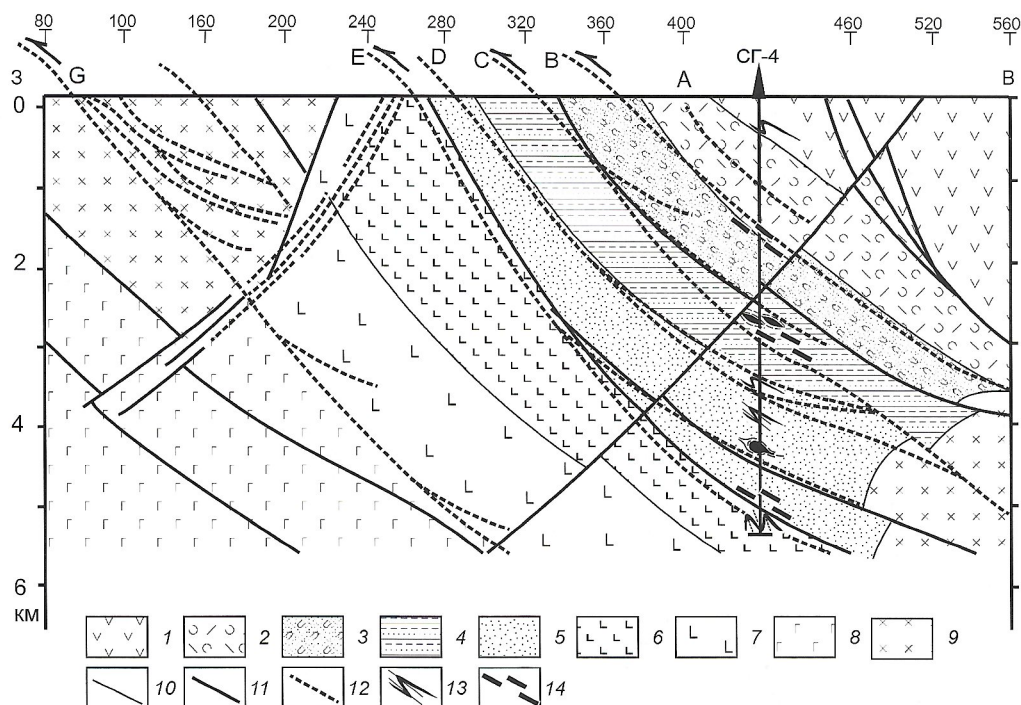
В зоне западного контакта Платиноносных массивов, описанного еще Е.А.Кузнецовым [15] как тектонический надвиг, вмещающие породы и ультрамафиты, габброиды превращены в бластомилониты эпидот-амфиболовой фации. Разгнейсование, катаклаз, милонитизация метапорфириров нарастают к контакту с дунит-пироксенитами. К востоку от массива горы Соловьевая и в целом в восточной части Тагило-Баранчинского комплекса плагиоклаз-роговообманковые габброиды и разнообразные амфиболиты нередко имеют мелкозернистые порфировидные полосчатые текстуры, участками переходящие в плейчатые мигматиты со структурами вращения порфиробластов или такситовые массивные и пегматоидные роговообманковые метагаббро. Эти деформации в габбро-амфиболитах, по-видимому, соответствуют по времени ранним стадиям покровных перемещений метавулканогенно-осадочных комплексов, расположенных западнее Нижнетагильского массива. В габброидах Белогорской формации,

обнаженных в области сочленения пород кабанской и именновской свит, деформированная полосчатость габбро-амфиболитов описывает прямые открытые складки. Интрузивные соотношения пород, последовательность внедрений габброноритов, диоритов и гранитоидов этих формаций, а также петрология и геохимия этих пород, подтверждающие их принадлежность островодужным формациям, детально рассмотрены в работе [28].

Таким образом, западная часть Тагильской зоны имеет сложное покровно-надвиговое строение, осложненное сдвиговыми деформациями. Формирование всей структуры проходило в нескольких этапах, и внутреннее строение каждой из тектонических пластин значительной мощности различно — от сложноскладчатого до сравнительно простого, слабо нарушенного тектонически, что обусловлено различной историей формирования и последующего перемещения каждого из тектонически совмещенных разрезов.

Глубинные сейсмические исследования (МОВ ОГТ) выявили высокую сейсмическую рефлективность верхней коры этого сегмента Тагильской зоны [10, 11, 37—40], а работы по системе профилей в районе Уральской СГ-4 позволили впервые установить существование различных простран-





**Рис. 2.** Геолого-геофизический профиль ESRU в интервале пикетов 80—560, с использованием материалов работ [2, 16, 35] и данных В.Н.Пучкова, и распределение деформационных структур в скважине Уральская СГ-4:

литолого-стратиграфические подразделения имменовской свиты, по работе [16]: 1 — базальты, 2 — вулканокластическая толща, 3 — тефроидная толща, 4 — переходная толща, 5 — флишеидная толща; 6 — базальты и дациты кабанской свиты; магматические комплексы, по В.Н.Пучкову: 7 — габбро-диабазы Оз, 8 — габбро-диабазы, 9 — гранитоиды; границы: 10 — стратиграфические и интрузивные, 11 — тектонические; 12 — сейсмические рефлекторы, по работе [35]; 13 — стиль микродеформаций пород; 14 — зоны милонитов

ственных ориентировок скоростной азимутальной сейсмической анизотропии в земной коре и верхней мантии для этого региона [13]. Два пересекающихся сейсмических профиля ESRU (см. рис. 1) показали, что главные сейсмические отражающие горизонты (рефлекторы) имеют простирание север—юг и падение на восток под углами 35—55° [35]. Структура западной части Тагильской зоны характеризуется особенно четкими и протяженными системами отражающих горизонтов — А, В, С, D, Е, F и G, по работе [35], погружающимися на восток и охватывающими, таким образом, разрез толщ, вскрытых СГ-4. Подчиненное значение имеют более слабые рефлекторы Z с западным наклоном коротких отражающих площадок.

**Деформационные структуры в разрезе скважины.** Наиболее четкие отражающие горизонты сейсмического профиля ESRU, маркированные как А, В, С, D и Е, зафиксированы в разрезе СГ-4 на следующих глубинах (в м): А около 1000; В около 1500; С в интервалах 2500 и 2800—2900; D в интервалах 3400 и 3500; Е в интервалах около 4000, 5000 и 5400. [37]. Все они имеют падение на восток под углами 35—55°. Положение ряда рефлекторов совпадает с литологическими границами или наблюдаемыми в скважине зонами дробления и милонитизации (рис. 2). Моделирование временных сейсмических событий с использованием альтернативных модельных отражателей — плотностных, литологических и зон дробления, тектонического разуплотнения показало, что с большой вероятностью они обусловлены появлением интервалов с высокой пористостью и высоким содержанием флюидов. Тектонические критерии и геометрия отражающих горизонтов (рефлекторов) указывают, что они маркируют серии разрывных зон, насыщенных флюидами. Возможно, эти зоны были реактивированы в ходе относительно молодых правосторонних (?) сдвигов.

Более слабые, короткие сейсмические отражатели Z имеют западное падение. Они пересекают скважину на глубинах 500—600 и 2300—2600 м и совпадают с система-

ми трещиноватости, характеризующимися малоамплитудными смещениями (по данным А.И.Марченко, 1999).

Весьма важными представляются данные по *радиальным напряжениям* в Уральской СГ-4 (материалы Л.Е.Ван Кин). Максимальные напряжения, как правило, соответствуют уровням, расположенным на несколько десятков или около 100 м глубже площадок главных отражателей А, В, С и D (для уровня Е мы не располагаем данными). Это обстоятельство, возможно, отражает тот факт, что современные напряжения сконцентрированы в подошвенной области зон тектонического течения и хрупко-пластических деформаций пород.

Как правило, исчерпывающие характеристики состава, структур и текстур даны для наиболее свежих недеформированных пород; отдельно рассмотрены вторичные (метаморфические) минеральные парагенезисы. Однако объемные деформации пород скважины и структуры хрупко-пластических и пластических деформаций изучены, на наш взгляд, недостаточно. По всему разрезу скважины различается несколько типов текстур и соотношений слоистости и кливажа, которые характеризуют стиль деформаций пород. Особенно интенсивно хрупко-пластические деформации, микробудинаж и катакластическое течение пород проявлены на уровнях 5083, 5101, 5102 м, где формируется четкая метаморфическая линейность.

Очевидно также, что скважина вскрыла и значительный объем пород, в которых: а) деформации не улавливаются в пределах размера образца скважины, например, массивные туфолавы дацитов и андезитов; б) деформации очень слабы или практически отсутствуют, например, отдельные пачки слоистых туфоалевролитов или базальтов. Однако присутствие слабо деформированных пород не означает, что общий разрез тектонически не нарушен. Например, в Магнитогорской зоне Урала картированы многочисленные аллохтонные комплексы, пакеты тектонических пластин, в которых деформации приурочены к их подошве, а разрезы самих пластин не нарушены. Кроме того, строение и



стиль деформаций в пределах самих пластин могут сильно различаться.

В целом по разрезу СГ-4 толща (тектоническая пластина) между рефлекторами С и D (2800—3500 м) характеризуется в основном хрупкими, катакластическими, с элементами хрупко-пластических деформаций, а между рефлекторами D — нижним и E — верхним (3500—5000 м) — преимущественно пластическими деформациями. Максимально пластические деформации, метаморфизм и катакластическое течение пород проявлены на глубинах более 5000 м.

При сравнении интервалов глубин, на которых вскрыты породы со структурами тектонического течения (пластических и хрупко-пластических деформаций), с глубинами пересечения главных сейсмических рефлекторов и максимальных радиальных напряжений можно сделать вывод о том, что различные методы наблюдений фиксируют примерно одни и те же крупные зоны тектонических деформаций в 5-километровом разрезе толщ, вскрытых бурением. Интерпретация природы этих зон наиболее четко и аргументированно дана в работе [35]: зоны представляют собой серии эшелонированных разрывных нарушений, как правило, флюидизированных, которые нередко разделяют литологически различные толщи или интрузивные тела (см. рис. 2). Подобные зоны, как правило, сопровождаются опережающими трещинами и разрывами, которые проявлены в локальных областях милонитизации, катаклаза и повышенных радиальных напряжений, не совпадающих с главными рефлекторами.

Таким образом, в результате бурения впервые установлено строение разреза мощностью 5 км и более в пределах сложно построенного складчатого пояса: СГ-4 вскрывает последовательность тектонических пластин большой мощности, сложенных в основном раннепалеозойскими осадочно-вулканогенными островодужными комплексами, в различной степени деформированными (см. рис. 2). Деформации максимально проявлены на границах структурно-литологических подразделений, в подошвенной части сместителей и зонах опережающих их тектонических трещин. Следует подчеркнуть, что в силу плохой обнаженности Тагильской зоны существующие геологические материалы обычных наземных исследований характеризуют ее достаточно разобщенные участки, и только в результате бурения СГ-4 могла быть установлена полная тектоно-стратиграфическая последовательность пород в 5-километровом разрезе скважины и определены мощности осадочно-вулканогенных комплексов. В результате бурения получены также значительно более детальные и четкие представления и о тектонических контактах между пластинами — выявлены зоны хрупко-пластического и пластического течения пород (катаклазиты и милониты), совпадающие с сейсмическими рефлекторами, установлены особенности напряженных состояний пород на глубине и возможное пространственное соотношение напряженных областей с зонами деформаций. Эти данные не только дополняют и уточняют представления о строении Тагильской зоны, но также имеют принципиальное значение для реконструкции всей истории формирования уральских и понимания причин специфичности уральской орогенности.

**Петролого-геохимические исследования керна СГ-4.** Геодинамические условия формирования раннепалеозойских комплексов, вскрытых СГ-4, соотносятся большинством исследователей с обстановками островодужного вулканизма. Типичные островодужные комплексы перекрывают океанические толеитовые базальты среднего—позднего ордовика [16, 20, 21, 31]. СГ-4 пересекает вулканогенные отложения подводных фаций, в т.ч. подушечные лавы, пирокласты и гравитационные грязекаменные потоки, а также дистальные фации, характеризующиеся перебивом пирокластики (вскрыты скважиной глубже 2400 м) [22]. Геохимические исследования показывают, что вся вскрытая ассоциа-

ция пород по происхождению относится к единому комплексу энсиматической островной дуги, а по степени вторичных изменений — к низкотемпературным гидротермальным потенциально рудоносным системам [8, 9, 16, 20, 31]. Здесь выделены следующие литолого-фациальные комплексы [16]: лавовый базальтоидный и андезитобазальтовый со слоями тефроидов и туффов, глубина 0—430 м; вулканокластический, пирокластический базальт-андезитовый, 430—1633 м; вулканогенно-осадочный (туфы и тефроиды) переходный, относимый к именновскому комплексу ( $S_{1W2}$ — $S_{2ld1}$ ), 1633—3487 м. Ниже по разрезу залегает флишоподобная толща с отложениями мутьевых потоков, в которой наряду с вулканогенно-осадочными присутствуют также тонкообломочные и кремнистые осадочные породы с лавовыми потоками андезитобазальтов и андезитов и углеродистые фтаниты, 3487—5070 м (павдинский комплекс,  $S_{1l}$ — $S_{1W1}$ ); лавокластическая толща, 5070—5264 м (кабанский комплекс,  $O_3$ ). Гематитизированные красноватые обломки маркируют несколько уровней субэвральное накопления отложений. По данным В.В.Наркисовой с соавторами [16], ранние вулканогенные (лландоверийские), алевролитовый и флишоподобный комплексы формировались в глубоководных условиях, активной гидродинамической обстановке, возможно, задуговом бассейне. Переходный комплекс формировался в относительно мелководной обстановке на фоне интенсивной вулканической деятельности, возможно, на склонах островных вулканов. Именновский комплекс был сформирован в субэвральном мелководных условиях при интенсивном андезитобазальтовом вулканизме, возможно, в обстановке прибрежного мелководья по периферии гористой островной суши. Во всем разрезе широко представлены дайки микродиоритов, габбро и горнблендитов.

Согласно проведенным интерпретациям геохимических и изотопных данных [16, 21], все вулканогенные, интрузивные и осадочные породы, вскрытые в СГ-4 и изученные в регионе, образовались в геодинамической обстановке энсиматической (океанической) островной дуги. Магматические породы обнаруживают типичные для магматизма островных дуг особенности распределения элементов-примесей, а именно: обеднение Nb, Ti и обогащение Th, U, а также Rb, Ba — в известково-щелочных составах, в то время как низкокальциевые толеитовые составы заметно обеднены этими двумя элементами.

Предполагается существование трех магматических резервуаров, продуцировавших первичные магмы, которые представлены: низкокальциевыми и высокомагнезиальными базальтами и высокомагнезиальными лавами, близкими по составу ультрамафитам. При их фракционной кристаллизации возникли соответственно три серии вулканических пород, каждая из которых включает: низкокальциевые андезиты и дациты толеитовой специализации; известково-щелочные и высокомагнезиальные андезиты; горнблендиты и диориты известково-щелочной специализации. Вулканы первых двух серий совмещены в разрезе скважины, и их синхронность подтверждается различиями в составе бомб и связующей массы в туфах. По-видимому, толеитовые и известково-щелочные расплавы поступали из разных вулканических аппаратов.

Осадконакопление проходило в морском бассейне нормальной солености с обычными изотопными характеристиками морской воды ( $\delta D=0\pm 10$ ;  $\delta^{18}O=0\pm 1$ ;  $\delta^{13}C=0\pm 2$ ;  $\delta^{34}S_{org}\approx 20$ ). Дезинтеграция вулканитов проходила в условиях избытка кислорода при интенсивной аэрации морской воды на мелководном шельфе или в субэвральном условиях при временном осушении морского дна. Фтаниты накапливались в обстановке глубоководного шельфа на окраине океанического бассейна. Осадочные породы в собственном смысле слова (вулканомиктовые песчаники, встречающиеся в виде прослоев пелиты, а также более редкие собствен-



но седиментогенные граувакки, алевролиты и фтаниты) расположены внизу разреза, на глубинах 3077—3891 м. Они завершают предыдущий этап развития островной дуги и образованы в результате размыва не вскрытого пока бурением подстилающего вулканогенного комплекса, в котором существенную роль играли предположительно толеитовые базальты и плагиогранитоиды.

Вся вскрытая бурением вулканогенно-осадочная толща образовалась на тыловом склоне энсиматической островной дуги, о чем свидетельствует сочетание низкокальциевых (толеитового типа) и высокомагнезиальных (до ультрамафитовых в дайках) известково-щелочных расплавов, а также присутствие субщелочных разновидностей пород (шошонитов). Судя по современным островодужным ситуациям, формирование изученной толщи проходило достаточно быстро, вероятно, в течение первых миллионов лет (до 10 млн. лет).

Признаки терригенного сноса с древнего архейского кратона (фундамент Восточно-Европейской платформы) не установлены ни в петрографическом составе обломочных пород, ни в составе их аксессуарных минералов, ни в изотопном составе вулканитов среднего и кислого составов, ни в терригенной взвеси кремнистых отложений (фтанитов). Отсутствие изотопных признаков древнего континентального вещества в осадочных породах может быть объяснено накоплением толщи на значительном удалении от континентального склона во время пика трансгрессии моря в раннем силуре.

Обнаружение в лавах ксеногенных цирконов, имеющих возраст около 1 и 1,5 млрд. лет, может быть обусловлено либо присутствием фрагментов позднедокембрийской коры в основании изученного комплекса (реликты островодужной системы рифейско-вендского палеоокеана?), либо наличием реликтов древних пород в литосферной мантии, в области ее частичного плавления.

Сульфидная минерализация формировалась как часть единой гидротермальной системы, перемещавшейся вверх по мере накопления и захоронения вулканогенно-осадочной толщи и приводившей в конечном счете к метаморфизму пренит-пумпеллиитовой фации при температурах 200—220°C. Медно-колчеданные руды близлежащего Кабанского месторождения, вероятно, сформированы в сходных условиях, но при несколько более высоких температурах. По данным И.В. Викентьева с соавторами [5], сульфиды из пород СГ-4 были образованы при редукции океанического сульфата в открытой системе, т.е. при циркуляции морской воды по трещинам в породах. Изменения изотопного состава серы в разрезе скважины приводит авторов к мысли о заимствовании серы из ранних вкрапленных сульфидов метаморфическим флюидом. Предполагается уменьшение во времени вклада колчеданобразующих систем «кабанского» возраста.

Таким образом, один из важнейших результатов бурения — получение прямых данных по характеристике литолого-фациального состава, структуры и геохимии многокилометрового островодужного разреза. На основании этих данных впервые проведены корректные палеотектонические реконструкции, охарактеризованы условия вулканизма, осадконакопления, металлогеническая специализация вулканитов и геохимия рудообразования.

В ходе исследования *органического вещества* и его преобразований в породах СГ-4 получены важные результаты о многообразии форм органического вещества по всему разрезу скважины [21, 27]. Присутствие витринита, а также споринита в верхней части разреза может уточнить датировку верхних слоев отложений, вскрытых СГ-4. В то же время следует отметить, что переходные стадии и механизм изменения витринита или альгинита в антраксолит и графит практически не изучены, и этот вопрос требует дальнейшей разработки [18].

Особенности *термического и флюидного режимов* земной коры в районе Уральской СГ-4 исследованы широким спектром методов [7, 21]. Гидрогеологическое опробование ствола скважины показало существование слабоминерализованных вод практически во всем ее разрезе, что подтверждает возможность метаморфогенного потока поверхностных вод. Очевидно, что выяснение роли флюидов в процессе формирования современной структуры земной коры и оценка влияния флюидного режима на интерпретацию многих геофизических параметров скважины совершенно необходимы при последующих исследованиях [34]. Тепловой поток в Тагильской зоне характеризуется аномально низкими значениями (20—35 мВт/м<sup>2</sup>) в интервале глубин до 3 км, что в два раза ниже среднепланетарных значений теплового потока для тектонических структур того же возраста (позднепалеозойская кора), но имеющих не линейное, а мозаичное строение [4, 34].

Характер распределения температуры с глубиной в СГ-4, а также в близко расположенных скважинах указывает на кондуктивный характер теплопереноса. Определенные по геотермическим данным в выстоявшихся скважинах скорости разнонаправленной фильтрации флюидов в пределах пробуренных глубин не превышают 10<sup>-8</sup> см/с (0,3 см/год). Это очень низкие скорости фильтрации, при которых конвективный теплоперенос может не учитываться в общей тепловой структуре литосферы Урала. Аномально низкий тепловой поток имеет нестационарную природу, обусловленную экранированием мантийного теплопотока аллохтонными литосферными пластинами большой мощности. Это объясняет и наблюдаемое увеличение теплового потока с глубиной.

В целом, значимость полученных материалов для понимания процессов формирования и эволюции континентальной коры Уральской складчатой системы трудно переоценить. Изложенные результаты сверхглубокого бурения и геохимического исследования керна вместе с околоскважинным пространством, несомненно, представляют собой новое слово в познании процессов образования коры в островодужных системах, так же как и в понимании структуры и эволюции складчатого Урала, который играет роль эталона при изучении фанерозойских складчатых систем Евразии.

*Основные направления исследований Уральской СГ-4.* В ходе дальнейших исследований для достижения главной цели научного бурения — реконструкция и моделирование процессов формирования континентальной коры, а также для прогнозирования строения коры на больших глубинах, при продолжении бурения СГ-4 необходимо провести мультидисциплинарный анализ региональной структуры, сопровождаемый реконструкцией истории формирования Уральской складчатой системы.

1. Среди первоочередных задач дальнейших исследований следует отметить проблемы аккреции островодужных построек раннего палеозоя на всем Тагильском широтном сегменте Урала и последующей косой коллизии этих аккрецированных террейнов с Восточно-Европейским кратоном. В геолого-геохимическом аспекте это означает выявление и изучение коллизионных гранитоидов, маркирующих утолщенную в ходе коллизии земную кору и реконструкции прямого внедрения мантийных расплавов во время, близкое к процессам аккреции и последующей коллизии.

Первоочередные объекты для таких специальных геолого-геохимических и изотопно-геохронологических исследований: 1) ассоциация габбро-диориты—плагиограниты—сиениты на западе Тагильской зоны и другие гранитоидные комплексы, расположенные по ее простиранию — для разделения коллизионных гранитов и гранитоидов, связанных в своем появлении с островодужным надсубдукционным магматизмом; 2) габбро-ультрабазитовые плутоны Платиноносного пояса. Для углубленного пони-



мания процессов формирования изучаемого островодужного разреза необходимо продолжить работы по:

изотопному датированию процессов породообразования U-Pb и Pb-Pb методами по цирконам и трековому (fission-track) методу датирования по отдельным минералам (апатитам, цирконам, рутилам) для установления времени остывания вскрытой в СГ-4 вулканической колонны или ее фрагментов;

изотопному изучению и датированию процессов породообразования Rb-Sr и Sm-Nd по породам и минералам;

сравнительному изучению изотопного состава свинцов в породах СГ-4 и рудных месторождениях прилегающих регионов для выявления генетических связей процессов рудообразования и вулканизма.

Остаются актуальными такие задачи, как разработка комплексной модели формирования коры по геохимическим признакам, в частности, выявление преддуговых, собственно дуговых и задуговых обстановок и возможной смены их во времени и выявление фаций осадочных отложений (открытого моря и прибрежных, мелководно-шельфовых фаций).

2. Вопросы изменения органического вещества в породах СГ-4 нуждаются в дополнительном исследовании с применением новейших методов. В частности, необходимо исследовать органическое вещество с помощью люминесцентной микроскопии, люминесцентно-битуминологического (полуколичественного) анализа, высокоразрешающей электронной сканирующей микроскопии и использования целого ряда других приборов и методов. Переходные стадии и механизм изменения витринита или альгинита в антраксолит и графит практически не изучены. Детальное изучение этих явлений на основе материалов СГ-4 могло бы внести значительный вклад в установление поведения рассеянного углеродистого вещества в породах и особенностей тектономагматических процессов, происходящих во время постседиментационной истории. Изучение керогена по разрезу скважины, определение его типов и величины отражения более корректно покажет закономерности изменения оптических свойств углеродистого вещества.

3. Представляется весьма перспективным изучение минерализованных остатков микробиоты из различных горизонтов вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ, вскрытых скважиной. Подобные исследования будут необходимы для характеристики состава и особенностей формирования подземной гидросферы в момент накопления и последующего преобразования вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений. Эти работы предполагается дополнить исследованиями современных микроорганизмов.

4. Задачи дальнейших исследований флюидного режима и теплового поля включают:

стационарные измерения температур и других теплофизических параметров;

количественное разделение влияния фильтрации воды, палеоклиматических событий и других факторов на тепловое поле;

изучение флюидного режима коры Урала на базе косвенных индикаторов (например, изотопии минеральных включений в постседиментационных и гидротермальных жилах).

5. Дальнейшее изучение структуры района бурения и самого разреза пород СГ-4 необходимо для расшифровки тектонического строения Тагильской зоны; положения в региональной структуре района толщ, вскрытых бурением; корректного обоснования внутреннего строения всего разреза. Решение этих задач требует проведения комплексного анализа деформационных характеристик пород и околоскважинного пространства, полученных по геофизическим, картировочным, петрофизическим и петроструктурным данным.

Первоочередные задачи включают:

создание структурной геологической карты района СГ-4 с анализом временной последовательности пикативных и дизъюнктивных деформаций;

детальные структурные исследования на границах выделенных свит, литолого-фациальных комплексов, а также в зонах контактов plutонических габбро-ультрабазитовых и гранодиоритовых комплексов с вмещающими породами;

увязку геофизических и петроструктурных данных по скважине с региональными структурами. Для решения этой задачи необходимо провести структурное изучение пород керна *в пределах интервалов с уже выявленными структурами пластического и катакластического течения пород* и создать объемные образы деформаций.

Все полученные данные и выводы должны быть непротиворечиво увязаны между собой и с региональными геологическими структурами, а также сопоставлены с альтернативными моделями строения верхней части земной коры для этого региона. Продолжение бурения необходимо для решения перечисленных задач и потому, что только прямое изучение глубинного разреза даст определенные ответы на ряд актуальных вопросов, поставленных при заложении скважины. Вскрытие бурением толщ, подстилающих (тектонически или стратиграфически) породы кабанской свиты, предоставит материалы для обоснования глубинной структуры Тагильской зоны и, возможно, прямых наблюдений строения глубинной области ее сочленения с комплексами пород континентальной окраины. При этом также будут пересечены серии четких сейсмических рефлекторов Е, установленных глубже 5400 м; сейчас же бурением вскрыт лишь верхний рефлектор этой серии, пространственно совпадающий с зонами интенсивных пластических и хрупко-пластических деформаций.

Полученные в ходе дальнейшего бурения характеристики глубинного разреза Тагильской зоны будут способствовать решению проблем структурного положения ультрабазит-габбровых массивов Платиноносного пояса — коренных источников платиноидов на Урале. Существующие методические наработки, созданные за период бурения Уральской СГ-4, обеспечат его высокую результативность — высокий выход керна, надежность и доступность его хранения и обработки, эффективность комплексных геолого-геофизических методов исследований.

При решении более общих *фундаментальных проблем формирования складчатых поясов* необходимо также объяснить такие специфические особенности тектоники уралид, как образование крупных слабо дезинтегрированных тектонических пластин в ходе латерального перемещения масс, когда деформации сосредоточены исключительно вдоль граничных поверхностейдвигающихся пластин. Очевидно, что здесь также должны быть приняты во внимание данные по томографическому разрезу литосферы Урала [6], показавшие, что верхний слой мантии Урала, по-видимому, сформирован, как и кора, процессами аккреции. Восточное падение мантийных неоднородностей в этом регионе Урала, возможно, объясняется надвигами отдельных фрагментов литосферной мантии при их смещении к западу, что создало существующее распределение латеральных плотностных неоднородностей в литосфере, гравитационных максимумов и обусловило особенности последующей деляминации литосферы.

Существенный вклад в понимание глубинной структуры уралид внесло также обнаружение азимутальной сейсмической анизотропии в верхней мантии Урала в районе СГ-4 [13], что накладывает ограничения на модельный состав верхнемантийного вещества, интерпретацию результатов глубинных геофизических исследований (вероятность существования ориентировок «замороженных» структур мантийного течения) и на последующие модели взаимодействия коровых и мантийных оболочек.



Результаты рекомендуемых мультидисциплинарных исследований дополняют и углубляют уже имеющиеся фундаментальные разработки по огромному массиву данных СГ-4 и лягут в основу создания модели формирования земной коры Урала. Теоретические построения, учитывающие рассмотренные специфические характеристики уралид, неизбежно будут серьезным вкладом в развитие наших представлений о механизмах формирования складчатых поясов планеты. Именно на уральских материалах, где намечается определенная общность тектоники коры и литосферной мантии, возможно показать взаимодействие этих двух важнейших оболочек Земли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Е.М., Золотов К.К., Лутков Р.И.* и др. Рудные месторождения и физические поля Урала / Под ред. К.К.Золотова. — Екатеринбург: УрО РАН, 1996.
2. *Башта К.Г., Шахторина Л.Н., Кускова В.Н.* Геологический разрез Уральской СГ-4 (0—5354 м) // Результаты бурения и результаты исследования Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль, 1999. Вып. 5. С. 25—36.
3. *Берзин Р.Г., Аккуратова Л.Н., Керимова И.К.* Тектонофизическая модель земной коры по геотраверсу Уралсейс (результаты интерпретации в системе Реапек РД) // Глубинное строение и геодинамика Южного Урала. Проект Уралсейс. Тверь, 2001. С. 215—221.
4. *Булашевич Ю.Н., Шапов В.А.* Об аномально низком тепловом потоке в Тагильском синклинии. Ядерно-геофизические и геотермические исследования. — Свердловск: ОНЦ АН СССР, 1987.
5. *Викентьев И.В., Русинов В.Л., Лапутина И.П., Носик Л.П.* Метаморфизм в разрезе Уральской сверхглубокой скважины; минеральные парагенезисы и эволюция флюидного режима // Результаты бурения и результаты исследования Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль, 1999. Вып. 5. С. 185—236.
6. *Винник Л.П., Золотов Е.Е., Косарев Г.Л.* и др. Томографический разрез литосферы Урала // Докл. РАН. 1996. Т. 346. № 5. С. 668—671.
7. *Геотермический атлас России* / Под ред. А.А.Смыслова, Э.И.Богуславского, А.Б.Вайнблата и др. — С.-Пб.: Изд-во Горного института; Ярославль: ФГУП НПП «Недра», 2000.
8. *Докучаев А.Я., Тарханов Г.В., Носова А.А.* и др. Изучить эволюцию флюидных палеосистем Тагильского прогиба на основе минералогических, петрологических и термобарогеохимических исследований пород и минералов Уральской СГ-4 (Заключительный отчет). — Ярославль: ФГУП НПП «Недра», 1998.
9. *Докучаев А.Я., Носова А.А., Тарханов Г.В.* и др. Изучить эволюцию геотермальных режимов Тагильского прогиба (Заключительный отчет). — Ярославль: ФГУП НПП «Недра», 1999.
10. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Автонева С.В.* и др. Главные структуры коры и верхней мантии Уральского региона // Докл. РАН. 1998. Т. 360. № 3. С. 397—401.
11. *Дружинин В.С., Егоркин А.В., Каушубин С.Н.* Новые данные о глубинной структуре Урала и прилегающих к нему областей по данным ГСЗ // Докл. РАН. 1990. Т. 315. № 5. С. 1086—1090.
12. *Каретин Ю.С.* Геология и вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины. — Екатеринбург: УрО РАН, 2000.
13. *Каушубин С.Н.* Сейсмическая анизотропия верхней мантии Урала // Изв. Уральского ГГА. Сер. геол. и геоф. 1998. Вып. 8. С. 132—136.
14. *Костюченко С.Л., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н.* Особенности строения литосферы Урала по результатам многоволнового глубинного сейсмического зондирования // Геотектоника. 1998. № 4. С. 11—16.
15. *Кузнецов Е.А.* Габбро-перидотитовые формации Урала // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1958. Т. 33. Вып. 2.
16. *Наркисова В.В., Носова А.А., Сазонова Л.В.* и др. Петрохимические и минералогические особенности вулканитов южной части Тагильской палеодуги // Палеозоны субдукции: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез. Екатеринбург, 2000. С. 32—50.
17. *Пейве А.В.* Тектоника и развитие Урала и Аппалачей — сравнение // Геотектоника 1972. № 3. С. 3—14.
18. *Петрова В.В., Стукалова И.Е., Сулержицкий Л.Д.* Преобразование гумусового органического вещества при взаимодействии с пирокластическим материалом // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 4. С. 425—430.
19. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. — Уфа: Даурия, 2000.
20. *Розен О.М., Бибикина Е.В., Викентьев И.В.* и др. Тагильская синформа: фрагмент энзиматической островной дуги силурийского палеоокеана (по данным геохимического и изотопного исследований керна Уральской скважины СГ-4 в интервале 0—4232 м) // Результаты бурения и результаты исследования Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль, 1999. Вып. 5. С. 113—131.
21. *Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4): Сб. науч. тр. Вып. 5* / Под ред. Б.Н.Хахеева, А.Ф.Морозова. Ярославль, 1999.
22. *Румянцев Н.А., Башта К.Г., Кукуй А.А.* и др. Уральская СГС. Модель глубинного строения палеозойской земной коры. Сверхглубокие скважины России и сопредельных регионов // Основные результаты глубокого и сверхглубокого бурения в России. С.-Пб., 2000. С. 16—37.
23. *Савельев А.А., Савельева Г.Н., Бабарина И.И., Чаплыгина Н.Л.* Тектонические условия расхождения дунит-пироксенитовых тел Платиноносного пояса Урала (на примере Нижне-Тагильского массива) // Геотектоника. 2001. № 6.
24. *Сальников В.Е., Агаинов И.С.* Зона аномально низких тепловых потоков на Южном Урале // Докл. АН СССР. 1977. Т. 237. № 6. С. 1456—1459.
25. *Сегалович В.И., Дмитриевская Ю.Е.* Тектоника Тагильского прогиба и сопредельных территорий Урала по данным сверхглубокого бурения // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 5. С. 129—144.
26. *Сokolov В.Б.* Строение коры Урала // Геотектоника. 1992. № 5. С. 3—19.
27. *Тарханов Г.В.* Метаморфизм углеродистого вещества в разрезе Уральской сверхглубокой скважины // Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4): Сб. науч. тр. Ярославль, 1999. Вып. 5. С. 236—246.
28. *Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Пушкарев Е.В.* и др. Новые данные по геохимии платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса // Геохимия. 1999. № 4. С. 352—370.
29. *Шахторина Л.Н.* Геологический разрез скважины СГ-4 // Уральская сверхглубокая скважина. Ярославль, 1992. С. 49—59.
30. *Шеховцова Н.В.* Состояние микробиологических исследований кернов пород глубоких и сверхглубоких скважин // Бурение сверхглубоких и глубоких параметрических скважин. 2001.
31. *Хахеев Б.Н., Морозов А.Ф.* Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4) // Научное бурение в России: Сб. науч. тр. Ярославль, 1999. Вып. 5.
32. *Хуторской М.Д.* Тепловой поток, модель строения и эволюции литосферы Южного Урала и Центрального Казахстана // Геотектоника. 1985. № 3. С. 77—88.
33. *Хуторской М.Д.* Геотермия Центрально-Азиатского складчатого пояса. — М.: Изд-во РУДН, 1996.
34. *Яковлев Е.Л.* Инфильтрация воды в базальтовый слой земной коры. — М.: Наука, 1999.
35. *Ayarza P., Juhlin C., Brown D.* et al. Integrated geological and geochemical studies in the SG4 borehole area, Tagil Volcanic Arc, Middle Urals: Locations of the seismic reflectors and source of the reflectivity // Journ. Geophys. Res. 2000. Vol. 105. № B9. P. 21,333—21,352.
36. *Friberg M., Petrov G.* Structure of the Middle Urals, east of the main Uralian fault // Geol. J. 1998. 33. P. 37—48.
37. *Juhlin C., Bliznetsov L., Pevzner L.* et al. Seismic imaging of reflectors in the SG4 borehole, Middle Urals, Russia // Tectonophysics. 1997. Vol. 276. P. 1—18.
38. *Juhlin C., Friberg M., Echler H.* et al. Crustal structure of the Middle Urals: Results from the Europrobe Seismic Reflection Profiling in the Urals (ESRU) experiment // Tectonics. 1998. Vol. 17. P. 710—725.
39. *Knapp J.H., Diaconescu C.C., Bader M.A.* et al. Seismic reflection fabrics of continental collision and post-orogenic extension in the Middle Urals, central Russia // Tectonophysics. 1998. Vol. 288. P. 115—126.
40. *Leech M.* Arrested orogenic development: eclogitization, delamination and tectonic collapse // Earth and Planet. Sci. Lett. 2001. Vol. 185. P. 149—159.
41. *Matte Ph.* Southern Uralides and Variscides: comparison of their anatomies and evolutions // Geol. en. Mijnbouw. 1995. Vol. 74. P. 151—166.
42. *Savelieva G.N., Nesbitt R.V.* A synthesis of the stratigraphic and tectonic setting of the Uralian ophiolite // J. Geol. Soc. London. 1996. Vol. 153. P. 525—537.
43. *Savelieva G.N., Sharaskin A.Ya., Saveliev A.A.* et al. Ophiolites and zoned mafic-ultramafic massifs of the Urals: a comparative analysis and some tectonic implications. Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present // Geoph. Mon. 2002. Vol. 132. AGU. P. 135—153.
44. *Sokolov V.* The deep structure of the Central Urals, in the Europrobe Symposium, edited by D.G.Gee and M. Beckholmen. P. 173. Polish Acad. Sci., Jablona, Poland, 1991.
45. *Scarrow J.H., Ayala C., Kimbell G.S.* Insights into orogenesis: getting to the root of the continent-ocean-continent collision, Southern Urals, Russia // Jour. of Geol. Society, London. 2002. Vol. 159. P. 679—671.



## Минерально-сырьевая база редких металлов России: проблемы и решения

М.Ф.КОМИН, Т.Ю.УСОВА (ИМГРЭ)

Научно-технический прогресс в своем поступательном движении вовлекает в промышленный оборот все новые и новые материалы для создания суперсплавов и композитов, беспроводной связи и сверхпроводящей керамики, компьютеров и оптических приборов, магнитострикционных устройств и высокоэффективных магнитов. Эти материалы века прогресса науки и техники за рубежом получили название «advanced materials» (улучшенные или продвинутые материалы).

Еще в 80-е годы проблема адекватности ресурсов «advanced materials» предполагаемым потребностям в будущем рассматривалась как остро актуальная [6], и на фоне спада активности геологоразведочных работ по основным видам минерального сырья широко развернулись поиски месторождений новых материалов. Они не были безрезультатны, и теперь нельзя в буквальном смысле слова называть «редкими» или «редкоземельными» металлы, которые при запасах первые миллионы тонн имеют содержание в рудах целые и даже десятки процентов. Например, на австралийском редкоземельном месторождении Маунт Уэлд содержание  $\text{TR}_2\text{O}_3$  в руде составляет 23,6% при запасах 1 млн т; в рудах российского Томторского месторождения содержится 6%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  и 12,8%  $\text{TR}_2\text{O}_3$ .

Уверенность в обеспеченности ресурсами способствовала активизации роста спроса на редкие металлы в 90-е годы (рисунок).

Можно было бы привести много примеров экономической эффективности использования редких металлов в современной промышленности [2, 3], поскольку главные его следствия — энерго- и ресурсосбережение, резкое улучшение качества материалов и создание принципиально новых и, как правило, миниатюрных технических устройств — несомненные приоритеты в индустриально развитых странах.

Быстро развивающийся процесс глобализации мировой экономики имеет важнейшей составной частью объедине-

ние мирового минерально-сырьевого комплекса. Каждое государство, желающее занять в этой системе достойное место, должно выработать собственную стратегию поведения.

В России экономический кризис 90-х годов особенно негативно отразился на отраслях высоких технологий и оборонной промышленности, и, как следствие, потребление и производство редких металлов резко сократилось. В настоящее время Россия отстает от развитых стран по этим показателям в несколько раз, а по некоторым металлам (Ta, Nb, TR, Li, Be, In) на порядок, что представляет угрозу национальной и экономической безопасности страны. К стратегическим видам сырья, в должной мере не обеспеченным их производством в России, из числа редких металлов относятся Ta, Nb, Li, Be,  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , Zr, Re, Ge, Sc.

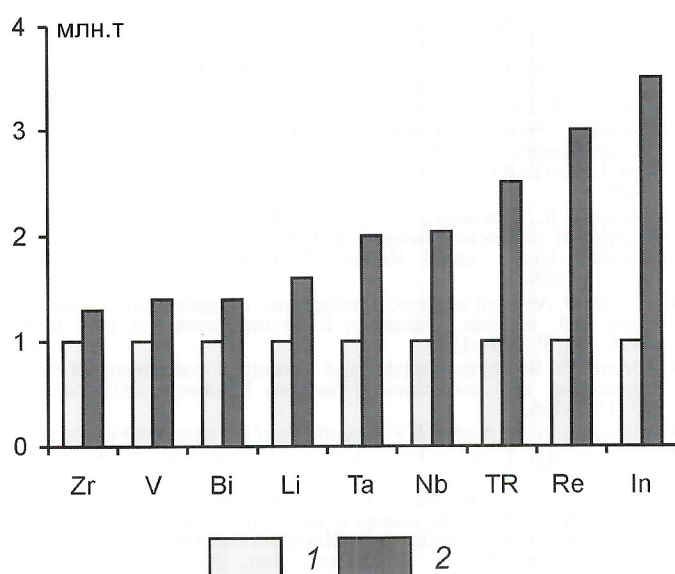
В развивающейся системе глобализации редкометалльных ресурсов место и роль страны потенциально определяются их запасами, по которым Россия занимает ведущее место в мире и среди стран СНГ. В нашей стране сосредоточены 15–30% разведанных мировых запасов Be, Li, TR, V, 30–50% Nb, Ta; запасы некоторых попутных компонентов превышают мировые. До начала 90-х годов СССР был одним из ведущих мировых производителей многих видов редкометалльного сырья: более 35% Y, Ge, Re; 20–25% Ta, Be, Ga и V; 10–15% Sr, Li, Nb. Однако для условий рыночной экономики минерально-сырьевая база редких металлов России оказалась недостаточно эффективной. Разрушение хозяйственных связей со странами СНГ привело к сокращению и ликвидации многих редкометалльных производств, а единичные оставшиеся функционируют на грани рентабельности.

При высокой обеспеченности запасами минерально-сырьевая база редких металлов России имеет те же недостатки, что и сырьевая база многих цветных металлов, но специфичность редких, связанная с малым объемом потребления и малым числом разрабатываемых объектов, усугубляет их в несколько раз. В качестве основных проблем минерально-сырьевой базы редких металлов можно назвать следующие.

1. *Расположение в районах с неразвитой инфраструктурой*, часто на крайнем севере (Ловозерское, Томторское, Сарылахское, Сентачанское) или в высокогорных районах с повышенной сейсмической активностью (Катутинское, Алахинское), что делает нерентабельными даже уникальные по содержанию сурьмы золотосурьмяные месторождения Якутии (Сарылахское и Сентачанское).

2. *Низкое качество руд*. Среднее содержание полезных компонентов в разрабатываемых месторождениях часто на порядок ниже такового в рудах эксплуатируемых зарубежных месторождений (табл. 1).

3. *Низкое качество концентратов*.



Рост мирового потребления редких металлов относительно уровня 1990 г. [4, 5]:

1 — 1990 г.; 2 — 2001 г.

| Россия                                                                                                                     | Зарубежные страны                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Лопаритовый (Ловозерское)<br>30—35% $\text{TR}_2\text{O}_3$ ; 7% $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ;<br>0,6% $\text{Ta}_2\text{O}_5$ | Бастнезитовый (США) 60%<br>$\text{TR}_2\text{O}_3$      |
| Колумбит-танталитовый<br>(Орловское, Этыкинское)<br>7—15% $\text{Ta}_2\text{O}_5$                                          | Пироксеновый (Бразилия)<br>60% $\text{Nb}_2\text{O}_5$  |
|                                                                                                                            | Танталитовый (Австралия)<br>40% $\text{Ta}_2\text{O}_5$ |



# 1. Промышленные типы месторождений России и зарубежных стран

| Полезное ископаемое | Россия (все месторождения в коренных рудах)                |                              | Зарубежные страны                                                                                                                                          |                              |
|---------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                     | Промышленный тип, месторождения                            | Среднее содержание, % оксида | Промышленный тип, месторождения                                                                                                                            | Среднее содержание, % оксида |
| Nb                  | Лопаритовые уртиты, <i>Ловозерское</i>                     | 0,24                         | Пироксеновые коры выветривания карбонатитов, <i>Араша</i> , Бразилия                                                                                       | 2,5                          |
| Ta                  | Лопаритовые уртиты, <i>Ловозерское</i>                     | 0,019                        | Пегматиты, их коры выветривания и остаточные россыпи, <i>Берник Лейк</i> , Канада                                                                          | 0,1                          |
|                     | Колумбит-танталитовые граниты, <i>Этыкинское Орловское</i> | 0,011<br>0,013               | <i>Морруа</i> , Мозамбик<br><i>Гринбушес</i> , Австралия                                                                                                   | 0,08<br>0,036                |
| TR                  | Лопаритовые уртиты, <i>Ловозерское</i>                     | 1,1                          | Бастнезитовые карбонатиты, <i>Маунтин Пасс</i> , США<br><i>Баюнь Обо</i> , Китай<br>Россыпи с монацитом и ксенотимом, Австралия, Индия, Бразилия, Малайзия | 7,7<br>6<br>До 0,3           |
| Li                  | Сподуменовые пегматиты, <i>Завитинское</i>                 | 0,69                         | Рапа соляных озер, <i>Салар де Атакама</i> , Чили                                                                                                          | 0,14                         |
|                     |                                                            |                              | Пегматиты разных типов, <i>Берник Лейк</i> , Канада<br><i>Гринбушес</i> , Австралия                                                                        | 2,76<br>2,9                  |

4. Промышленные типы месторождений в России представлены в основном нетрадиционными для мировой практики коренными рудами, требующими больших энергозатрат при добыче и переработке. В запасах России большую долю составляют руды колумбит-пироксеновых щелочных гранитов, которые пока нигде в мире не разрабатываются: около 70% в запасах  $ZrO_2$ ; 38% —  $Ta_2O_5$ ; 27% —  $Nb_2O_5$ ; около 5% — TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

5. Сложные технологии переработки руд. Редкометалльные руды часто неоднородные и сложные по химическому и минеральному составу, тонкозернистые, иногда радиоактивные. Гравитационно-магнитные схемы обогащения дают низкое извлечение полезных компонентов, а применение флотации, широко распространенной за рубежом, в России слабо развито. Для многих типов руд чаще предлагаются гидрометаллургические методы переработки.

6. Комплексность месторождений, которая обычно рассматривается как синоним их богатства, для редких металлов часто оборачивается препятствием к освоению из-за неравномерного, а для отдельных металлов ограниченного развития спроса. Монокомпонентные месторождения более привлекательны для инвестора, т.к. их освоение позволяет быстрее и адекватнее реагировать на потребности рынка.

В результате имеющиеся в России месторождения традиционных для мировой горнорудной промышленности типов с содержанием полезных компонентов, соответствующим уровнем крупнейших месторождений мира (Томторское и Чукотское ниобий-редкоземельные месторождения в корках выветривания карбонатитов; Тастыгское и Колмозерское лития в сподуменовых пегматитах; Лукояновское циркон-ильменитовых песков погребенных прибрежно-морских россыпей), либо расположены в удаленных районах (Томторское, Тастыгское), либо имеют сложности в технологии обогащения руд (Лукояновское, Томторское).

Несмотря на формальную высокую обеспеченность России количеством запасов, учитываемых Государственным Балансом, для ряда металлов проблемы минерально-сырьевой базы остаются весьма актуальными (табл. 2). Поэтому российские инвесторы почти не проявляют интерес к освоению российских редкометалльных месторождений, а интерес иностранных, ажиотажный в самом начале 90-х годов, практически угас, за очень редкими исключениями.

Учитывая вышесказанное, в ближайшие годы, а, возможно, и в более отдаленном будущем, совершенствование минерально-сырьевой базы редких металлов должно оставаться в сфере государственных интересов. Федеральный статус редких металлов определяется тем, что многие из них являются дефицитными металлами новых технологий, обеспечивающими экономическую и политическую безопасность России.

Интересы федерального уровня должны быть направлены на удовлетворение внутренней потребности России, обеспечение ее экспортных возможностей, а также создание стратегического резерва месторождений (запасов) на случай экстремальных ситуаций. Внутренние потребности России будут, несомненно, развиваться, о чем свидетельствуют не только мировой опыт, но и прогнозируемые в программе Минпромнауки России «Стратегия развития металлургической промышленности России до 2010 г.» опережающие темпы прироста производства высоконаучной продукции со специфическими свойствами, в составе многих видов которой участвуют редкие металлы.

Предпосылки возможного экспорта редкометаллических товаров создает для России интенсивный рост потребления редких металлов в зарубежных странах, особенно в Японии, странах Юго-Восточной Азии и Западной Европы, не имеющих их запасов. Анализ конъюнктуры показывает, что в ближайшие годы могут быть перспективны для реализации на мировом рынке Ta, Zr, V, Sb, Ga, Ge, In, Re. Задача создания государственного резерва для редких металлов также актуальна, поскольку государственные резервы за 90-е годы были в значительной степени истощены, т.к. служили источником валютных поступлений в трудный для страны период.

За многие годы ограниченного финансирования поисковый задел по редким металлам был в значительной степени утрачен. В последние годы МПР России переориентировало цели региональных работ на выявление площадей для постановки прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ, создав таким образом механизм для обновления и пополнения нераспределенного фонда недр. Остро актуальным остается поиск новых сырьевых источников, в т.ч. и нетрадиционных, для дефицитных металлов, таких как *рений*, запасы которого отсутствуют, и *сурьма*, активные запасы которой ограничены.



## 2. Состояние и проблемы минерально-сырьевой базы редких металлов России

| Металл      | Потребление в России в 2001 г., т (США) | Обеспеченность России всеми запасами по современному уровню потребления (активными запасами) | Наличие импорта или экспорта сырья или конечной продукции (КП) | Основные проблемы                                                                                                                                     |
|-------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Re          | 3 (35)                                  | Менее 1                                                                                      | Импорт                                                         | Сырьевая база отсутствует                                                                                                                             |
| Sb          | 4000 (45 000)                           | Более 30 (15)                                                                                | Экспорт, импорт КП                                             | Разрабатываемое месторождение находится в Якутии и функционирует на грани рентабельности. Резерв активных запасов весьма ограничен                    |
| Zr (циркон) | 7000 (60 000)                           | Более 30 (4)                                                                                 | Импорт                                                         | Низкая экономическая эффективность освоения балансовых месторождений                                                                                  |
| Li          | 300 (4000)                              | Более 100                                                                                    | Импорт                                                         | То же                                                                                                                                                 |
| Nb          | 320 (4400)                              | Более 100 (10)                                                                               | Импорт                                                         | В МСБ резко ограничены активные запасы пироксеновых руд, в которых остро нуждается промышленность                                                     |
| Ta          | 23 (550)                                | Более 100                                                                                    | Импорт КП                                                      | Низкое качество разрабатываемых руд. Ограниченность резерва рентабельных собственно танталовых месторождений                                          |
| TR          | 500 (12 000)                            | Более 100                                                                                    | Импорт КП                                                      | В МСБ отсутствуют небольшие компактные месторождения иттрия и иттриевых лантаноидов                                                                   |
| Hg          | 300 (500)                               | Более 100                                                                                    | Экспорт                                                        | Экономически эффективные для освоения месторождения в МСБ отсутствуют                                                                                 |
| Bi          | 100 (30)                                | Около 60 (30)                                                                                | Импорт                                                         | МСБ представлена в основном медными рудами, из которых висмут не извлекается. Единственное собственно висмутовое месторождение имеет небольшие запасы |
| Be          | 60 (230)                                | Более 100 (около 30)                                                                         | Импорт КП                                                      | Мало запасов рентабельных руд                                                                                                                         |

Согласно рыночным механизмам, центральной фигурой в области использования минеральных ресурсов должен быть недропользователь, и при изучении и переоценке месторождений его интересы должны быть учтены в первую очередь. Разведка редкометалльных объектов в СССР имела основной целью прирост запасов и как можно больший набор полезных компонентов. И сейчас, когда потенциальные инвесторы, хотя и редко, но проявляются, часто оказывается, что сами месторождения не готовы к тому, чтобы отвечать на их запросы.

Крупные комплексные редкометалльные месторождения, способные на долгие годы обеспечить потребность, в России есть [3]. Однако из-за неравномерности развития спроса на редкие металлы и его скачкообразности, обусловленной применением в новых технологиях, в структуре сырьевой базы должны быть разные месторождения: и комплексные, и монометалльные и крупные, и небольшие. Металлы и геолого-промышленные типы их месторождений, которые могли бы быть востребованы уже в ближайшие годы, перечислены в табл. 3.

Сегодня мы видим следующие пути активизации развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы редких металлов.

Коренной вопрос создания и совершенствования минерально-сырьевой базы — *разработка современных технологий* освоения месторождений и переработки руд, которое должно стать неотъемлемой частью геологоразведочного процесса, обеспеченной достаточными финансовыми ресурсами и техническими средствами. Создание при МПР России современной централизованной службы (например, на базе Бронницкой экспедиции ИМГРЭ) могло бы обеспечить основу для прорыва в увеличении активных запасов ряда твердых полезных ископаемых. Новые технологии, а не только пересчеты показателей ТЭО, должны стать и базисом геолого-экономической переоценки месторождений. Возможно, проблема не столь актуальна для тех видов сырья, месторождения которых исчисляются, по крайней, мере десятками. Но для редкометалльной мине-

рально-сырьевой базы с ее часто *нетрадиционными типами руд* и единичными объектами особых типов отсутствие технологии не позволяет оценивать вероятную промышленную значимость объектов на ранних стадиях работ, и в результате средства на геологоразведочные работы тратятся не всегда эффективно, а об инвесторах не приходится и думать.

В интересах федерального уровня находится и решение вопросов *комплексного использования сырья*. В настоящее время многие предприятия перестали выпускать попутную редкометалльную продукцию и практически не несут ответственности за неполноту использования сырьевых ресурсов России. Выполненная нами переоценка балансовых запасов попутных компонентов нераспределенного фонда недр показала, что во многих случаях запасы попутных компонентов были поставлены на баланс давно, без достаточных экономических обоснований. В рыночной экономике оценка эффективности их извлечения нуждается в пересмотре, так же как и нормативно-правовая база в части комплексного использования сырья.

Для многих редких металлов большое значение могут иметь *изучение и вовлечение в промышленное производство техногенных и вторичных источников*: отвалов и хвостов обогатительных фабрик (Вознесенское месторождение — Li, Be, Rb, Cs, Качканарское — Sc); зол углей (TR, Sc); продуктов нефтепереработки (V) и пр. В России имеется положительный опыт освоения вторичного использования рения. Так, На Рошальском химводекомбинате в 2002 г. сдана в эксплуатацию промышленная установка для получения высокочистых солей рения из вторичных источников (пылей, растворов, шлифоотходов, стружки и пр.), которые до настоящего времени не использовались. Производительность установки 600—1200 кг рения в год, что составляет около половины его современного потребления в России. За рубежом за счет вторичного сырья удовлетворяются 20—25% потребности в германии и тантале, в США регенерируются для потребления около 80% ртути и порядка 20% сурьмы. В России возможности вторичных и



### 3. Перспективные для поисков типы редкометалльных месторождений

| Металл | Геолого-промышленный тип [1]                                                           | Требуемые параметры*                                 |                                           |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|        |                                                                                        | Содержание в руде                                    | Запасы руды                               |
| TR     | Бастнезитовые карбонатиты                                                              | 1% TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                    | Десятки миллионов тонн                    |
|        | Редкоземельные коры выветривания алюмосиликатных пород                                 | Доли процента TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         | Десятки тысяч тонн                        |
|        | Россыпи с ксенотимом                                                                   | 100 г/м <sup>3</sup> ксенотима                       | Десятки миллионов кубических метров       |
| Nb     | Пироклоровые коры выветривания карбонатитов                                            | 1% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    | Десятки миллионов тонн                    |
| Ta     | Коры выветривания пегматитов и россыпи ближнего сноса                                  | 0,001% Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                | Десятки тысяч тонн                        |
| Zr     | Рутил-циркон-ильменитовые россыпи с небольшой вскрышей                                 | Не менее 100 кг/м <sup>3</sup> условного ильменита   | Десятки—сотни миллионов кубических метров |
| Re     | Медно-порфировый, медистые песчаники, битумы, современные парогазовые выбросы вулканов | 0,0n—n г/т Re (в молибдените — сотни грамм на тонну) | Десятки—сотни миллионов тонн              |
| Ge     | Германий-буроугольный                                                                  | Не менее 100 г/т Ge                                  | Миллионы тонн                             |
| Sb     | Джаспероидный золотоантимонитовый                                                      | 5—10% Sb                                             | Сотни тысяч тонн                          |
| Bi     | Собственно висмутовые                                                                  | 0,2% Bi                                              | Первые миллионы тонн                      |
| V      | Титаномагнетитовые                                                                     | 0,3—0,5% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>               | Десятки миллионов тонн                    |

\*Сугубо ориентировочно. Зависит от географо-экономического положения, технологичности руд и прочих факторов.

техногенных источников редкометалльного сырья экономически не оценены, отсюда не всегда ясна необходимость поиска и разведки новых месторождений.

Важную задачу федерального уровня представляет выявление ресурсного потенциала редких металлов в районах континентального шельфа, а также в приграничных районах, которые имеют *геополитический интерес*. Разработка минеральных ресурсов в этих районах будет способствовать их большей политической стабильности. При этом требования к экономической эффективности освоения объектов могут быть снижены с учетом социальных и политических интересов таких регионов. В настоящее время ИМГРЭ активно проводит работы по оценке редкометалльного потенциала островов Курильской гряды с тем, чтобы усилить геополитическую значимость этого региона. Так, уже в 2002 г. сотрудниками института с помощью установки, спроектированной и смонтированной в кратере вулкана Кудрявый, впервые в мире была экспериментально доказана принципиальная возможность получения высокочистых солей рения из парогазовой фазы.

Особое положение имеют и слабо освоенные регионы страны, такие как Республика Тыва, где сосредоточено несколько крупных редкометалльных месторождений и рудных районов. С целью создания условий для занятости населения и улучшения демографической ситуации в целом в таких районах также необходимо проведение политики государственного протекционизма при изучении и освоении минерально-сырьевых ресурсов.

В отношении группы *стратегических металлов* до сих пор не созданы законодательные основы управления их ресурсами, да и сам перечень нуждается в доработке. Например, в настоящее время из этого перечня можно было бы исключить скандий, ресурсы которого по сравнению с нынешним уровнем его потребления поистине безграничны, а прогнозы роста спроса на него в будущем весьма неопределенны. Должны быть разработаны меры по защите стратегических ресурсов и особые условия недропользования для строгого соблюдения государственных интересов.

В частности, эффективным источником освоения месторождений стратегических металлов мог бы быть смешанный капитал с контрольным пакетом государства.

Успешным начинанием МПР России в части рационального расходования средств федерального бюджета были предпринятые в последние 2 года организационные меры по обеспечению участия отраслевой науки на всех стадиях геологоразведочного и производственного процессов. Опыт всплеска открытий редкометалльных месторождений в 50—60 годы XX в. показывает, что появление новой поисковой технологии, в частности аэрогеофизики, позволило в короткий срок увеличить число новых объектов. В последние годы в ИМГРЭ создан солидный задел по обработке геолого-геохимических данных разномасштабного геохимического картирования, что уже сегодня привело к выявлению новых перспективных рудных районов и площадей на Среднем Урале (Sr, Y), в Восточном Забайкалье (Sb, Hg, Bi, Be) и других регионах России.

Большой эффект может быть достигнут в результате анализа громадного объема накопленной информации по геологии, вещественному составу, технологии и экономике редкометалльных месторождений с созданием на современной технической базе системы мониторинга минерально-сырьевых ресурсов, а также статистически достоверных многоцелевых, многофакторных, многоуровневых моделей. Такие модели необходимы для оценки выявленных объектов и их типизации, выбора технологий обогащения руд, определения оптимальных параметров поисковой и разведочной сетей и др. Это очень большая работа, и организация ее тем более актуальна, что число опытных специалистов в отрасли с годами уменьшается.

Рынок редких металлов в России невелик и сложен по структуре. Крупные потребители малочисленны, а мелкие предпочитают удовлетворять потребности за счет импорта (иногда в силу субъективных причин), а не вкладывать средства в развитие собственных производств. Учитывая то обстоятельство, что за последние 10 лет на рынки мно-



гих редкометалльных товаров вышел Китай с относительно низкими себестоимостью и ценами, доступность импортной редкометалльной продукции резко увеличилась. Большие успехи Китая на мировом редкометалльном рынке в большой степени объясняются политикой государственной поддержки редкометалльного бизнеса. Только в редкоземельной отрасли, где действия частных и государственных компаний координируются госсектором (China National Rare Earth Office), экспорт продукции увеличился с 83,5 млн. дол. в 1990 г. до 522 млн. дол. в 2000 г.

Россия обладает ресурсами, не худшими, а для ряда редких металлов и гораздо лучшими, чем Китай, и по его примеру могла бы в короткий срок выйти на рынки многих видов редкометалльной продукции и отказаться от импорта. Учитывая сложность российского рынка редких металлов, решение задачи самообеспечения редкометалльной продукцией и занятия достойной ниши на мировом рынке возможно только при обеспечении государственной поддержки в виде создания целевых межотраслевых программ или организаций, объединяющих интересы государства, потребителей и производителей редкометалльной продукции.

Конкретные направления стратегии развития минерально-сырьевой базы редких металлов до 2010 г. разрабатываются нами и будут предложены в стратегическую программу геологического изучения, воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы РФ «Металлургическое сырье России». Среди них основными являются:

разработка новых технологий добычи и переработки традиционных источников редкометалльного сырья (*литий, тантал, цезий*);

расширение и воспроизводство минерально-сырьевой базы дефицитных и стратегических металлов (*рений, сурьма, редкоземельные металлы иттриевой группы, висмут*), в т.ч. за счет легко осваиваемых и нетрадиционных источников;

качественное совершенствование минерально-сырьевой базы за счет поисков экономически эффективных источников сырья: *ниобия* в пироклорных рудах; *тантала* — в экзогенных источниках сырья; *циркония* — в богатых или менее глубоко залегающих россыпях;

разработка организационно-экономического механизма активизации попутного и вторичного производства редких металлов, в т.ч. из техногенного сырья (*ртуть, сурьма, рений, висмут, индий*).

В программу конкурсных предложений НИОКР МПР России на 2003—2005 гг. наиболее перспективным представляется включить фундаментальные исследования по проблеме: «Закономерности процесса формирования и локализации промышленных концентраций редких и благородных металлов в природной системе: коренной источник—кора выветривания—россыпь».

В области международной интеграции мы видим следующие основные направления:

участие России в проведении геологоразведочных работ на редкометалльных месторождениях за рубежом, прежде всего в странах СНГ и Африки;

участие России в транснациональных корпорациях и проектах главным образом в части прогноза, поисков, оценки и передела редкометалльного сырья;

интеграция со странами СНГ с целью воссоздания производственных цепочек, действовавших в СССР, или создания новых производственных объединений для увеличения производства редких металлов, обеспечения внутренних потребностей и экспортных возможностей России.

Но ждут ли нас на мировых рынках редких металлов? Они в значительной мере заполнены, тем более что для удовлетворения мировой потребности в некоторых металлах часто достаточна эксплуатация единственного месторождения. Изучение минерально-сырьевого обеспечения мирового сообщества и конъюнктуры рынка показывает, что уже в ближайшем будущем возможен дефицит таких металлов, как Zr, Ta, In, Re. Кроме того, монопольное положение ведущих производителей на рынках Nb, TR, Sb, V и других металлов побуждает основных потребителей — развитые страны — к диверсификации источников сырья, вследствие чего они проявляют определенный интерес к российским запасам и продукции металлургических предприятий. В недавние годы достаточно успешно экспортировались Sb (сырье), Ta (сырье и пентаоксид), Nb (пентаоксид), V (феррованадий и промпродукты), TR (промпродукты), а также металлические Li, Zr, Ge, Ga, In, Bi, Cd, Cs, Sc и др.

Практически неограниченны возможности России в занятии ведущей роли на рынке стран СНГ, которые почти не имеют существенных запасов редких металлов, кроме Zr и ряда металлов попутного производства (Re, Bi, In и др.). Вместе с тем, нельзя попасть в зависимость от мирового рынка сырья, чего требуют интересы национальной минерально-сырьевой безопасности. Национальные интересы России должны быть определяющими. В условиях остановки редкометалльных горнодобывающих предприятий Российская Федерация может уже в ближайшем будущем стать объектом экспансии транснациональных корпораций. В современных экономических условиях совершенствование запасов стратегических полезных ископаемых, к числу которых отнесены и многие редкие металлы, должно стать одним из ведущих национальных приоритетов в государственной минерально-сырьевой политике России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кременецкий А.А., Багдасаров Ю.А., Бескин С.М. и др. Геолого-промышленная типизация редкометалльных месторождений // Разведка и охрана недр. 1998. С. 37—41.
2. Новое в развитии сырьевой базы редких металлов. — М.: ИМГРЭ, 1991.
3. Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке: Междунар. симпозиум в Москве, 5—9 октября 1998 г. // Тез. докл. М., 1998.
4. Mineral Commodity Summaries. 2003.
5. Mining Annual Review. 2002.
6. Resources Policy. 1988. Vol. 14. № 1. P. 3—20.



## Крупные золоторудные месторождения Казахстана

М.С.РАФАИЛОВИЧ, А.И.ВОСТРОКНУТОВА (Научно-исследовательский институт природных ресурсов ЮГТЕО)

Крупные месторождения золота (КМЗ) представляют собой специфический класс диссипативных рудно-геохимических систем, который совокупностью параметров (размерность, пространственная организация, физико-химические характеристики, интегральная сложность) существенно отличается от класса мелких и очень мелких месторождений. КМЗ Казахстана подразделяются на три геолого-промышленных типа: акбакайский золотосульфидно-кварцевый жильный в интрузивных и терригенных породах (Акбакай, Жолымбет, Бестюбе), васьиковский золотосульфидно-кварцевый штокверковый в интрузивных породах (Васьиковское) и бакырчикский золотосульфидный прожилково-вкрапленный в углеродисто-терригенно-карбонатных толщах (Бакырчик, Суздальское).

Особенности образования, пространственного размещения и вещественного состава КМЗ могут быть охарактеризованы следующей схемой.

1. КМЗ зарождаются, эволюционируют и отмирают в зонах глубокой проницаемости и дренажа пород земной коры (рифты, островные дуги, активные континентальные окраины) в результате многоступенчатого инъецирования вещества и энергии в локальные рудоконцентрирующие очаги (последние фиксируются полихронными проявлениями метаморфизма, магматизма, пневмато-гидротермальных процессов).

2. Рудный потенциал КМЗ формируется из нескольких рассредоточенных по вертикали источников (мантийные и нижнекоровые флюидно-магматические системы; офиолиты и зеленосланцевые породы средней и верхней частей земной коры; специализированные слоистые терригенные и углеродисто-терригенно-карбонатные литофации верхней коры). Для КМЗ характерны: чрезвычайно длительное время их формирования (десяtkи, сотни миллионов лет); периодизация, иерархическая соподчиненность и эволюционная направленность геологических явлений; эстафетно-унаследованная активизация рудных источников; разнородные структурные дислокации; ритмично-волновая экстракция, рециклинг, локальное концентрирование химических элементов.

3. Важнейшая предпосылка образования КМЗ — рудо-локализирующая среда («местный» источник питания), ее анизотропность, неоднородность, тектоническая дислоцированность, присутствие в ней сульфидизированных, изначально обогащенных полезными компонентами (в 1,5—5 раз выше кларка) углеродисто-терригенных, углеродисто-терригенно-карбонатных толщ (шарыкская, буко-ньская, дуланкаринская свиты), выполняющих по отношению к оруденению разнообразные функции (ресурсную, барьерную, структурообразующую). Структурный каркас КМЗ по своему объему и физико-химическим параметрам вмещающих пород (пористость, химическая активность, адсорбционные свойства) благоприятствует зарождению и полноценному функционированию крупной рудообразующей системы, а суммарное количество золота, введенное в рудо-локализирующую среду, соответствует масштабу КМЗ.

4. Крупные золоторудные районы и входящие в них КМЗ сходны по геолого-геофизическим характеристикам и особенностям глубинного строения [3]. КМЗ приурочены к контактам положительных и отрицательных аномалий остаточного гравитационного поля, отражающих структурные и вещественные неоднородности пород фундамента. Васьиковский район расположен на стыке зеленосланцевой останца древней платформы, сложенной эклогитами и эклогитоподобными породами (отмечены

положительной аномалией), с разуплотненным гранито-гнейсовым куполом (отрицательная аномалия). В Бакырчикском и Акбакайском районах положительные аномалии соответствуют вулканическим поднятиям островодужного типа (офиолиты, серпентиниты, породы кремнисто-базальтовой ассоциации), отрицательные — глубоким прогибам с терригенным и углеродисто-терригенным материалом.

5. КМЗ характеризуются колоссальными масштабами метасоматоза, изменчивым составом измененных пород, высокоупорядоченной метасоматической зональностью. Во всех КМЗ выделяются стволовая, апикальная и корневая метасоматические зоны. Стволовая зона сложена кварц-серицит-мусковитовым агрегатом с золотоносными пиритом и арсенопиритом; апикальная — сульфидизированными кварц-адуляровыми, кварц-каолиновыми, хлорит-альбитовыми гидротермалитами; корневая — высокотемпературными турмалинитами, калишпатитами, карбонатсодержащими (брейнерит, анкерит, железистый доломит) породами. Обрамление КМЗ сложено пропи-литам и пропи-литизированными породами.

6. Для КМЗ Казахстана свойственна полная эволюция минералообразования со следующими стадиями: дорудной пирит-пирротин-марказитовой, рудными золотопирит-арсенопиритовой (с кварцем) и золотокварц-сульфо-сульфо-блеклорудно-полиметаллической и заключительной позднерудной кварц-карбонат-марказит-антимонит-тетраэдритовой (с переотложенным золотом, баритом, киноварью). Для крупных рудообразующих систем характерны контрастные инверсии температур последовательных стадий минералообразования, устойчивый интервал продуктивной стадии (350—150°C), присутствие битумоидов в газово-жидких включениях.

7. КМЗ сохраняют индивидуальность и композиционную стройность (структуру геохимического поля, минеральные ассоциации, типоморфизм, зональность) независимо от формационного типа руд, глубинности формирования, состава вмещающей среды. Разнотипные КМЗ формируются по единому сценарию, предусматривающему повторяемость в месторождениях фундаментальных («родовых») минералого-геохимических характеристик. Мелкие рудные объекты отличаются от КМЗ изменениями количества, качества и отношений минералого-геохимических параметров, что создает благоприятные предпосылки для их отбраковки с помощью логико-математического аппарата исследований.

Нами с использованием экспертной системы «Генезис» (ЭСГ) разработана и апробирована новая технология экспрессной оценки крупности месторождений золота, основанная на принципах теории искусственного интеллекта, нелинейной аппроксимации результатов рудообразующих процессов, комплексировании геологических и компьютерных моделей [1—3, 6]. ЭСГ представляет собой инструментальное средство организации автоматизированных баз знаний для оперативного проведения экспертиз в различных областях геологического прогнозирования. ЭСГ состоит из баз данных и знаний, подсистем тестирования (отладки) базы знаний, логического вывода, объяснений. Знания в ЭСГ представляются в виде отдельных моделей, которые разрабатываются экспертом для решения конкретных задач. Совокупность экспертных моделей, включенных в ЭСГ, образует базу знаний системы. Программа получения логического вывода функционирует в режиме диалога ЭСГ и геолога-пользователя. Пользователь сооб-



щает системе необходимую информацию о прогнозном объекте, а ЭСГ с помощью процедур логического вывода формирует экспертные заключения.

Экспертная модель знаний состоит из элементарных неделимых утверждений (фактов), сложных понятий или утверждений (гипотез) и логических связей между различными гипотезами или фактами и гипотезами (правил вывода). Экспертиза в системе осуществляется с помощью логического вывода, основанного на исходных данных, возможно, неточных и неполных. С каждым фактом и каждой гипотезой связано целое число от  $-100$  до  $+100$ , которое может рассматриваться как степень принадлежности конкретной реализации факта или гипотезы к нечеткому множеству, их характеризующему, или как степень уверенности геолога-пользователя в их истинности. Числом  $+100$  обозначается полная уверенность в истинности факта,  $-100$  — полная уверенность в ложности,  $0$  — отсутствие информации о факте. Промежуточные значения отвечают градациям таких утверждений. Частная степень уверенности заключения правила определяется исходя из степени уверенности посылок. Общая степень уверенности гипотезы выводится на основании частных степеней уверенности правил. Подробнее методология ЭСГ рассмотрена в работах [1–3, 5–7].

Новая технология оценки золоторудных объектов, разработанная на примере жильных месторождений золота акбайского типа, включает: создание и количественное описание баз знаний и баз данных разномасштабных месторождений; создание типовых компьютерных моделей месторождений; формирование банка информативных признаков, в совокупности определяющих сложность систем и достаточных для решения прикладных задач (диагностики крупности прогнозируемых объектов).

Основа компьютерной технологии оценки ресурса золоторудных объектов — эталоны с различными запасами золота: крупными (Акбай), средними (Бескембир, Аксакал, Светинское, Кенжем), мелкими (Карьерное, Кенгир, Алтынсай, Узунтас и др.). Наиболее структурированный, композиционно выдержанный и контрастно-зональный КМЗ Акбай [6], генерализованная геологическая модель которого (модель высокого класса сложности) содержит четыре индикаторные зоны (ритма): фронтальную А (надрудную), прифронтальную Б (верхнерудную), промежуточную В (среднерудную), тыловую Г (нижнерудно-подрудную). Перечисленные зоны, концентрирующие различные количества промышленного золота (зона А менее 1%; Б 70–80%; В 20–30%; Г менее 3%), характеризуются специфическими поисково-оценочными параметрами (рис. 1).

**Фронтальная зона А**, соответствующая апикальной части рудно-магматической колонны, развита в перекрывающих оруденение вулканогенно-терригенных породах нижнего—среднего девона. Пневмато-гидротермальные изменения представлены пропитализацией, аргиллизацией, вкрапленной сульфидной минерализацией, кварц-кальцит-баритовыми и кварц-сульфидными жилками. Кварц нередко халцедоновидный, средне-, низкотемпературный. Сульфидизация пород (пирит, реже антимонит и полиметаллические сульфиды) составляет 1–5%, местами 20–30%. Самородное золото мелкое (до 0,02 мм), ассоциирует с пиритом, кварцем, кальцитом. Зона фиксируется эндогенными ореолами Au, Sb, Ag, Ba, As, Pb, Hg. Минерализованные породы имеют низкое As/Sb (менее 10) при высокой относительной роли (более 50%) подвижных компонентов (Sb, Ba, As, Pb, Ag). Вертикальная протяженность зоны от 300 до 500 м.

**Прифронтальная зона Б** характеризует верхний срез золотообразующей системы, наиболее богатый запасами благородного металла. Оруденение локализовано в углеродистой алевролит-песчаниковой пачке верхнего ордовика, интродуцированной крутопадающими малыми интрузиями

и дайками диорит-гранодиоритов. В магматитах и терригенных породах развиты березиты и березитоподобные метасоматиты с кварцем, серицитом, мусковитом, адуляром, карбонатами, пиритом, арсенопиритом. Руды отличаются телескопированностью золотопродуктивных ассоциаций, сложным минеральным составом (полиметаллические сульфиды, разнообразные блеклые руды, сульфосоли Sb, Pb и Cu, самородные элементы), крупным, изменчивым по морфологии и пробыности самородным золотом, высокой геохимической неоднородностью главных сульфидов (пирита, арсенопирита, антимонита), значительным количеством генераций и структурно-текстурных разновидностей золотоносного кварца, повышенным Au/Sb (10–30). Вертикальный размах зоны 200–400 м.

**Промежуточная зона В** фиксирует среднее сечение золотообразующей системы. Вмещающие породы — отложения низов разреза углеродистой алевролит-песчаниковой пачки верхнего ордовика. Наряду с секущими телами диорит-гранодиоритов здесь нередки послойные силлообразные и седловидные интрузии с золотоносными жилами «лестничного» типа. Индикаторные минералы — железистый карбонат и альбит. Золотопирит-арсенопиритовая ассоциация — ведущая, золотосульфосолю-полиметаллическая выражена слабо. Минеральный состав руд — пирит, арсенопирит, теннантит, полиметаллические сульфиды, редко антимонит. Самородное золото крупное (до 5 мм), средне-высокопробное, с примесью As, Cu, Pb (до первых процентов). Пирит мышьяковистый (As 1–2%), арсенопирит содержит повышенные концентрации Sb (0,1%). Отмечаются высокое As/Sb (30–200) и положительные связи Au с Bi и W. Протяженность зоны 200–400 м.

**Тыловая зона Г**, характеризующая корневую часть рудоносной системы, расположена в конгломерат-песчаниковой пачке верхнего ордовика. Одиночные субпластовые мелкие интрузии, дайки диорит-гранодиоритов и золотоносные кварцевые жилы приурочены к крыльям локальных антиклиналей. Кварц массивный, высокотемпературный, с маломощной оторочкой гидротермально измененных пород. Индикаторные метасоматические минералы — железистый карбонат, альбит, турмалин. Рудные — пирит, арсенопирит, полиметаллические сульфиды, теннантит, редко теллуриды. Количество сульфидов не более 3%. Самородное золото видимое (обычно до 2 мм), высокопробное. Оруденение характеризуется простым элементарным составом (чаще Au, As, Ag). Показательны высокие As/Sb (более 200) и положительная корреляция Au с Mo, W, Sn. Вертикальный размах зоны 200–500 м.

Для создания автоматизированных баз знаний и баз данных, построения компьютерных моделей месторождений золота были задействованы семь групп геологических признаков: рудовмещающие геологические формации, структурные элементы, магматизм, гидротермальные изменения, морфология рудных тел, минералогические особенности и геохимические признаки. Наличие и контрастность проявления в объекте определенного признака (факта), как отмечалось выше, оценивались специальными показателями от  $-100$  до  $+100$ .

Структурированный набор признаков распределен следующим образом.

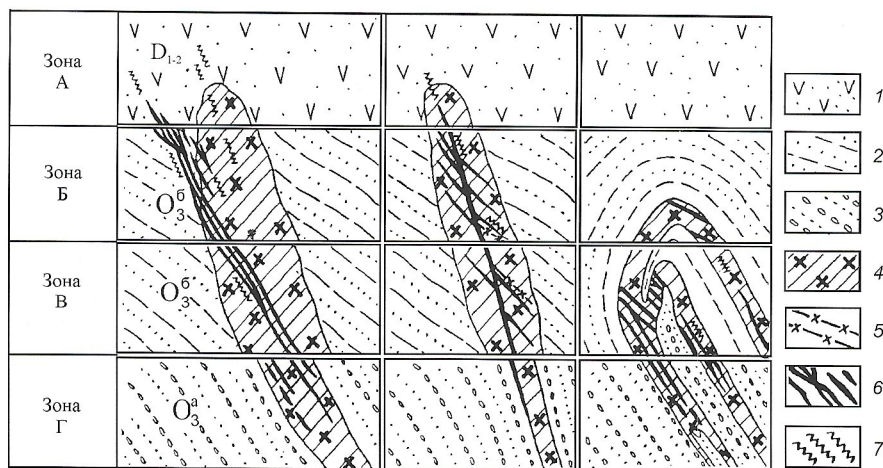
Группа 1. Рудовмещающие геологические формации.

1.1. Состав формаций: андезит-песчаниковая; андезитовая; алевролит-песчаниковая; конгломерат-песчаниковая.

1.2. Возраст формаций: поздний девон или моложе; ранний—средний девон; поздний ордовик (верхняя часть разреза); поздний ордовик (средняя); поздний ордовик (нижняя); ранний—средний ордовик или древнее.

Группа 2. Структурные элементы: крутопадающие линейные разрывы; сочетания крутопадающих линейных разрывов и пологозалегающих трещин скола и отрыва; трещины отрыва лестничного типа в интрузивных телах;





**Рис. 1. Генерализованная модель месторождений золота акбайского типа:**

1 — андезит-песчаниковая формация нижнего—среднего девона; терригенные формации верхнего ордовика; 2 — углеродистая алевролит-песчаниковая (верхняя часть разреза), 3 — конгломерат-песчаниковая (нижняя часть разреза); 4 — малые интрузии габбро-диорит-гранодиоритов кызылжартасского комплекса ( $D_{1-2}$ ); 5 — дайки среднего состава; 6 — золотоносные кварцевые жилы; 7 — проявления сульфидной минерализации (пирит, арсенопирит)

секущие сколовые трещины в терригенных породах; послойные сколовые трещины в терригенных породах; замыкания складок второго и третьего порядков; крутопадающие крылья локальных антиклинальных складок; пологопадающие крылья локальных антиклинальных складок; замки локальных антиклинальных складок.

#### Группа 3. Магматизм.

3.1. Интрузивные образования: крупные массивы гранитоидов; батолиты пестрого состава; самостоятельные малые интрузии диорит-гранодиоритов; дайки пестрого состава.

3.2. Возраст рудоконтролирующих магматических образований: додевонский; девонский; последевонский.

3.3. Состав интрузивных пород: габбро-диориты; диориты; гранодиориты; гранит-порфиры; кварцевые порфиры; фельзит-порфиры; гибридные породы.

3.4. Морфология интрузивных тел: секущие крутопадающие малые интрузии и дайки; субсогласные и послойные крутопадающие малые интрузии и дайки; субсогласные пологозалегающие интрузивные тела; интрузии седловидной формы в замках антиклинальных складок; силлообразные интрузии.

Группа 4. Гидротермальные изменения (метасоматоз): пропилитизация; аргиллизация; адуляризация; березитизация; совмещенные типы метасоматитов.

Группа 5. Морфология рудных тел, золотоносных зон: ореолы вкрапленной сульфидной минерализации; маломощные кварц-сульфидные жилки; зоны березитизации (без кварца); крутопадающие стержневые плитообразные кварцевые тела с пологими оперяющими кварцевыми жилами; системы сближенных кварцевых жил и зон сульфидизации; жилы лестничного типа в интрузивных телах; системы сближенных коротких и маломощных кварцевых жил ореольного типа.

#### Группа 6. Минералогические особенности.

6.1. Индикаторные жильные и метасоматические минералы: халцедоновидный кварц; барит; каолинит; гидросерпичит; серицит; доломит; адуляр; мусковит; железистый карбонат; альбит; турмалин.

6.2. Текстуры золотоносного кварца: радиально-лучистая; халцедоновидная; рисовидная; гребенчатая; прожилково-гнездовая; гнездовая; шестоватая; полосчатая; брекчиевидная; массивная; линзовидная.

6.3. Температуры образования кварца, °C: менее 180; 180—250; 250—320; более 320.

6.4. Количество сульфидов в золотоносном кварце, %: менее 1; 1—3; 3—5; более 5.

6.5. Количество сульфидов в березитах, %: менее 3; 3—10; 10—15; более 15.

6.6. Золотоносные минеральные ассоциации: продуктивная золотопирит-арсенопиритовая; продуктивная золотокварц-сульфосольно-полиметаллическая; про-

дуктивная золотокварц-полиметаллическая; слабозолотоносная кварц-кальцит-баритовая с антимонитом, киноварью.

6.7. Рудные минералы-индикаторы: пирит; антимонит; арсенопирит; киноварь; тетраэдрит; бергтерит; халькопирит; галенит; сфалерит; теннантит; швацит; джемсонит; буланжерит; бурнонит; висмутин; самородное золото; самородная сурьма; самородное серебро; самородный висмут; касситерит; теллуриды.

6.8. Габитус кристаллов пирита: кубы {100}; октаэдры {111}; пентагондодекаэдры {210}; комбинации {100+111}; комбинации {100+210}.

6.9. Форма выделений самородного золота: пылевидная; овальная; комковидная; остроугольная; пленочная; дендритовидная; прожилковая; неправильная; амёбовидная; губчатая; пластинчатая; каплевидная.

6.10. Преобладающие размеры золотин, мм: менее 0,02; 0,02—2; 2—5; более 5.

6.11. Пробность самородного золота: менее 800; 800—900; более 900.

6.12. Примеси в самородном золоте, 1% и выше: Ag; As; Sb; Pb; Cu.

6.13. Примеси Au в пирите, г/т: менее 20; 20—100; 100—1000; более 1000.

6.14. Примеси As в пирите, %: менее 0,1; 0,1—1; 1—3; более 3.

Примеси Sb в пирите, %: менее 0,01; 0,01—0,05; более 0,05.

Примеси Au в арсенопирите, г/т: менее 10—20; 20—100; более 100.

Примеси Sb в арсенопирите, %: менее 0,05; 0,05—0,2; более 0,2.

Примеси Ag в арсенопирите, г/т: менее 10; 10—100; более 100.

#### Группа 7. Геохимические признаки оруденения.

7.1. Геохимический тип: Sb—As—Au—Ag; Au—Sb—As; Au—As—Sb; Au—As; Au.

7.2. Сопутствующие элементы: Pb; Ba; Hg; Cu; Ag; Zn; Bi; W; Mo.

7.3. Относительная масса золота, определяемая как отношение кларка концентрации элемента к сумме кларков концентраций элементов типоморфного комплекса, %: менее 40; 40—50; 50—75; более 75.

Относительная масса сурьмы, %: менее 5; 5—10; 10—30; более 30.

Относительная масса мышьяка, %: менее 5; 5—10; 10—15; более 15.

Модуль фемичности, определяемый как отношение суммы относительных масс химических элементов (Au, Ag, Cu, Co, Ni и др.) к сумме относительных масс силикатических (As, Sb, Bi, Pb, Ba, W, Mo и др.): менее 1; 1—2,5; 2,5—3,5; более 3,5.



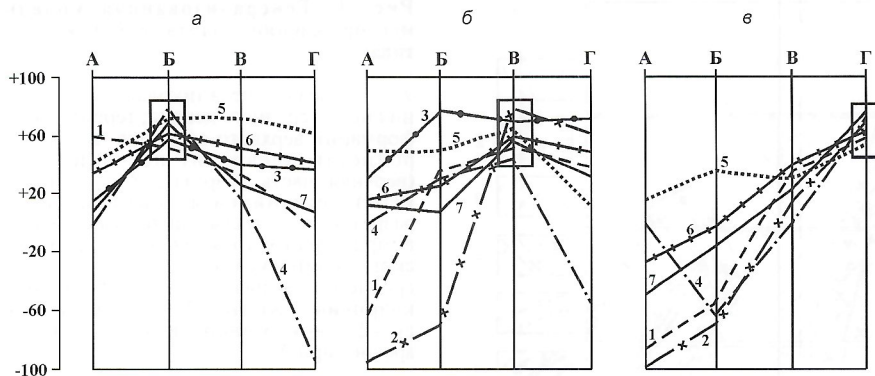


Рис. 2. Контрольная проверка экспертной модели знаний по эталонным месторождениям на основе частных оценочных показателей:

месторождения: а — Акбакай, б — Алтынсай, в — Алтынсай; прогнозные признаки (кривые оценочных показателей): 1 — состав и возраст рудовмещающих формаций, 2 — магматические, 3 — метасоматические, 4 — структурные, 5 — морфологические, 6 — минералогические, 7 — геохимические; прямоугольником обозначены сближенные точки уверенного отнесения эталона к конкретной индикаторной зоне

Суммарная относительная масса подвижных элементов (Sb, As, Ba, Ag, Pb, Bi), %: менее 20; 20—30; 30—50; более 50.

Элементы, положительно коррелируемые с золотом: As; Sb; Pb; Ag; Cu; Zn; W; Mo; Sn.

7.9. Мышьяк-сурьмяное отношение в рудах: менее 10; 10—30; 30—200; более 200.

Важный этап подготовки экспертной системы — ее отладка на разномасштабных эталонах, характеризующихся фиксированным уровнем эрозионного среза. Крупное месторождение Акбакай по большинству признаков уверенно (степень уверенности до +60—80) отнесено к зоне Б (верхнерудный срез), мелкое Алтынсай — В (среднерудный срез), очень мелкое Алтынсай — Г (нижнерудный срез) (рис. 2). Удовлетворительные результаты получены и по другим эталонам.

Система позволила ранжировать прогнозные признаки по их значимости в следующий убывающий ряд: геохимические—минералогические—метасоматические—состав и возраст вмещающих геологических формаций—структурные, магматические, морфологические. Максимально информативны минералого-геохимические параметры, зонально изменяющиеся в объеме изучаемых месторождений. В модели знаний ЭСГ учтены следующие изменения (от А к Г): упрощение минерального и элементного составов руд; снижение температуры образования минеральных ассоциаций, относительной роли сурьмы, относительной массы подвижных компонентов, концентраций примесей в самородном золоте; увеличение пробности выделений золота, мышьяковистости пирита, относительной массы As, Sb, концентраций W, Mo, Sn.

Для решения задач прогноза необходимо привлекать разнородную геологическую информацию. При совместном применении достоверных геологических, структурных, минералогических и геохимических факторов степень уверенности диагностики эталонов достигает +70, +80. Комплексный подход особенно важен при экспертизе слабоизученных рудных объектов, на которых тонкие минералого-геохимические исследования (определения сложных минеральных форм, пробности золота, температур образования кварца, примесей в сульфидах и т.д.) не проводились. В этом случае удовлетворительный прогноз осуществим даже при ограниченных знаниях геолога о составе вмещающей среды, околорудных метасоматитах, магматизме, контролирующем оруденение, структурно-морфологических и минералого-геохимических особенностях объекта.

Достоверность прогноза увеличивается, если на модельных графиках (см. рис. 2) точки оценочного показателя различных групп признаков расположены сближенно («кучно») при высоких положительных значениях (50—80). Разброс точек с охватом областей отрицательного и неопределенного прогнозов указывает на ложность проверяемой гипотезы или недостаточность фактического материала.

Комплексирование геологических и компьютерных моделей подтвердило, что наиболее организованный и диффе-

ренцированный объект в Шу-Илийском регионе — крупное месторождение золота Акбакай. Ниже уровень сложности, организованности и дифференцированности средних месторождений, еще ниже — мелких и очень мелких. Подчиненные объекты акбакайского типа «вписываются» в генерализованную модель месторождения Акбакай в качестве систем более низкого ранга (с числом ритмов не более 2): средние месторождения (Кенжем, Аксакал, Бескембир, Светинское) соответствуют зонам Б+В, мелкие (Алтынсай, Карьерное, Кенгир) — зоне В, очень мелкие (Жаксы, Олимпийское, Алтынсай, Узунтас) — Г.

Компьютерная технология оценки крупности ресурсов золота предусматривает использование как полного, так и сокращенных вариантов баз знаний. Сокращенный минералого-геохимический вариант базы знаний содержит следующие признаки (надежность последних более +50): состав рудных, жильных и метасоматических минералов; золотосодержащие минеральные и геохимические ассоциации; температуры образования и структурно-текстуальные особенности золотоносного кварца; количество сульфидов в гидротермально измененных породах и рудных телах; типоморфизм самородного золота (формы выделений, размерность, пробность, примеси); содержания золота в пирите; относительные массы Au и As в геохимическом спектре; корреляционные связи элементов.

Разработанная технология применима на различных стадиях геологоразведочных работ. Содержание и примеры использования ЭСГ для количественной оценки промышленной значимости новых золотосульфидно-кварцевых объектов в Казахстане приведены в работе [6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаец А.Н., Вострокнутов Е.П., Вострокнутова А.И. Геологическое прогнозирование и методология искусственного интеллекта // Докл. совещ. геологов на XXVIII сессии Международного геологического конгресса (Вашингтон, июль 1989). М., 1989. С. 124—131.
2. Вострокнутова А.И. Автоматическое формирование баз знаний // Математические выводы решения задач геологического прогнозирования. Алма-Ата, 1988. С. 42—51.
3. Вострокнутов Е.П. Средства приобретения знаний в экспертной системе «Генезис» // Геофизические исследования при прогнозировании и поисках рудных месторождений в Казахстане. Алматы, 1993. С. 8—14.
4. Любецкий В.Н. Глубинные критерии локализации оруденения золота в Казахстане (по геофизическим данным) // Опыт прогнозирования и оценки золоторудных месторождений Казахстана. Алма-Ата, 1985. С. 10—19.
5. Пономарев В.Г., Вострокнутов Е.П., Акимец В.А. Экспертная система — инструмент прогнозирования стратиформного полиметаллического оруденения. — Новосибирск, 1991.
6. Рафаилович М.С., Вострокнутова А.И. Комплексирование геологических и компьютерных моделей золото-сульфидно-кварцевой формации для целей детального прогноза и оценки (методические рекомендации). — Алматы, 1994.
7. Рафаилович М.С., Вострокнутова А.И. Компьютерная технология прогнозной оценки месторождений золото-сульфидно-кварцевой формации на основе экспертной системы «Генезис» // Металлогения и воспроизводство фонда недропользования. М., 2000. С. 108—110.



## Статистический металлогенический анализ: оценка ресурсов скрытых рудных месторождений

Ф.А.УСМАНОВ, Б.А.ИСАХОДЖАЕВ (Институт геологии и геофизики им. Х.М.Абдуллаева АН Республики Узбекистан)

В хорошо изученных в геологическом отношении регионах вероятность пропуска значительных месторождений, обнажающихся на дневной поверхности, очень низка. Это положение, отмечаемое почти всеми исследователями, создает ряд новых проблем в дальнейшем расширении минеральных ресурсов таких регионов. Оно возможно в основном за счет скрытых на некоторой глубине месторождений. В связи со значительным исчерпанием легко открываемых и разведываемых месторождений начинается качественно новый этап прогнозных, геолого-поисковых и в целом геологоразведочных работ. Проблема расширения минерально-сырьевых ресурсов становится более трудной, чем это было до сих пор, а геологоразведочные работы более науко- и капиталоемкими. Эта мысль в той или иной форме высказывалась многими специалистами с 80-х годов XX в. Наиболее четко она сформулирована в статье [6, с. 160]: «К настоящему времени геологическое прогнозирование на традиционной основе становится крайне сложной задачей. Это объясняется тем, что фонд легкооткрываемых месторождений, залегающих неглубоко от поверхности, практически исчерпан, по крайней мере, в пределах индустриально развитых стран. Поисковые работы ориентируются на выявление глубоко залегающих месторождений, на длительное изучение глубинных частей известных месторождений, что приводит к широкому применению новых методов».

Как показано во многих работах, закономерности размещения рудных объектов, исследуемые в металлогении, представляют собой вероятностно-статистические закономерности, а сама металлогения относится к статистическим наукам. На стыке металлогении, теории вероятностей и математической статистики формируется новое научное направление — статистическая металлогения.

В настоящей работе мы хотели рассмотреть одну из актуальных проблем статистического металлогенического анализа — *проблему разработки комплекса методов и компьютерных технологий для количественной оценки общих металлогенических ресурсов скрытых рудных месторождений территорий*. Под оценкой металлогенических ресурсов здесь подразумевается оценка перспектив территории в тоннах металла или числе месторождений определенного типа. Необходимо подчеркнуть, что металлогенические ресурсы территорий, о которых здесь говорится, являются более общими, чем конкретные прогнозные ресурсы категорий  $P_1$ ,  $P_2$ . Оценивание металлогенических ресурсов логически должно предшествовать определению прогнозных ресурсов указанных категорий.

Ниже мы предлагаем некоторые способы решения этой проблемы. Реализация некоторых из них требует постановки специальных работ для получения необходимых исходных фактических данных. В этих случаях мы ограничились постановкой задач и описанием общей схемы ее решения. В других случаях, когда в нашем распоряжении были необходимые данные, мы приводим примеры применения предлагаемых методов в конкретных регионах.

**Общая постановка задач.** Приведенные ниже построения рассчитаны для регионов, удовлетворяющих следующим условиям: 1) характеризуются такой степенью геологической изученности, что почти все обнажающиеся на дневной поверхности рудные объекты, оцениваемые на этой поверхности или вблизи нее как промышленные месторождения, уже обнаружены; 2) в пределах региона имеются *открытые* территории, где рудоносные геологиче-

ские комплексы обнажаются на дневной поверхности. Возможно также наличие *закрытых* частей региона, в которых эти комплексы перекрыты чехлом более молодых отложений. Типичный пример таких регионов — Средняя Азия, где эндогенные рудные месторождения связаны с домезозойскими формациями, обнажающимися на дневной поверхности на значительных площадях в пределах Западного Тянь-Шаня, перекрытые чехлом мезокайнозойских отложений на обширной территории Туранской плиты.

Нам понадобятся некоторые термины, характеризующие степень скрытости рудных месторождений. Перечень этих терминов и часть предлагаемых определений приведены в табл. 1. Приведенная систематика общая, предназначенная для пояснения сути предлагаемых методов. На практике определения типов и подтипов месторождений по степени скрытности будут, очевидно, зависеть от видов полезных ископаемых, морфологии месторождений, конкретных геолого-экономических условий и т.п. В зависимости от этих факторов, в частности, могут быть смещены границы между малыми, средними и большими глубинами, на которых скрыты месторождения.

Приведем определения некоторых терминов, содержащихся в табл. 1. В регионах, для которых выполняется сформулированное выше условие 1, выявлены в основном значительно вскрытые рудные месторождения. У таких месторождений верхняя часть уничтожена денудацией. Вследствие этого об особенностях морфологии и строения верхних частей промышленных месторождений информация очень мало. На наступившем новом этапе, упомянутом выше, именно такая информация необходима для распознавания промышленных месторождений по их сечениям дневной поверхностью в верхней части.

Представим себе рудное месторождение, залегающее на некоторой глубине и, следовательно, сохранившееся от самой верхней точки с гипсометрической отметкой  $Z'$  до самой нижней точки с гипсометрической отметкой  $Z''$ . Рассмотрим горизонтальные сечения этого месторождения. На горизонтальном сечении вблизи самой верхней точки это месторождение по масштабам оруденения будет соответствовать рудной точке (точке рудной минерализации), на глубине  $Z_1$  начнутся сечения, соответствующие по масштабам оруденения рудопоявлению. Затем на некоторой глубине  $Z_2$  начнутся сечения с промышленным по масштабам оруденением. Глубже, на некоторой глубине  $Z_3$ , в зоне нижнего выклинивания, опять начнутся сечения, которые по масштабам оруденения будут соответствовать рудопоявлению и, наконец, на глубине  $Z_4$  начнутся сечения, соответствующие рудной точке. В этой схеме месторождение в вертикальном направлении разделится на три части: 1) верхняя от гипсометрической отметки  $Z'$  до  $Z_2$  с вертикальным размахом  $H = Z_2 - Z'$ , где будут сечения с непромышленным оруденением (эта зона верхнего выклинивания или «вершки» месторождения); 2) средняя от гипсометрической отметки  $Z_2$  до  $Z_3$  с вертикальным размахом  $H_2 = |Z_3 - Z_2|$ , где будут сечения с промышленным оруденением (эта зона наиболее мощных сечений); 3) нижняя от гипсометрической отметки  $Z_3$  до  $Z''$  с вертикальным размахом  $H_3 = |Z'' - Z_3|$ , где опять будут сечения с непромышленным оруденением (зона нижнего выклинивания или «корешки» месторождения). Такое разделение месторождения на три части по масштабам оруденения в сечениях оказывается нужным при разра-



## 1. Систематика рудных месторождений по степени скрытости

| Обнаженность рудоносных формаций | Открытые территории                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                           | Закрытые территории                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | Полностью скрытые (не обнаженные)                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Вскрытые (обнаженные)                                                                     | Полностью перекрытые (не обнаженные)                                                                                                                                                             | Частично перекрытые (обнаженные)                                                                                                                                                             |
| Типы                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                           |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                              |
| Подтипы                          | 1. Скрытые на малых глубинах (глубина верхней точки месторождения от дневной поверхности до 50 м)<br>2. Скрытые на средних глубинах (глубина верхней точки месторождения от дневной поверхности от 50 до 200 м)<br>3. Скрытые на больших глубинах (глубина верхней точки месторождения от дневной поверхности больше 200 м) | 1. Вскрытые в верхней части*<br>2. Вскрытые в средней части<br>3. Вскрытые в нижней части | 1. Перекрытые на малых глубинах (мощность чехла до 50 м)<br>2. Перекрытые на средних глубинах (мощность чехла от 50 до 200 м)<br>3. Перекрытые на больших глубинах (мощность чехла больше 200 м) | 1. Слабо закрытые (закрыто до 1/3 площади месторождения)<br>2. Средне закрытые (закрыто от 1/3 до 2/3 площади месторождения)<br>3. Сильно закрытые (закрыто более 2/3 площади месторождения) |

\*Определения верхней, средней и нижней частей месторождения даны в тексте.

ботке способов оценки ресурсов скрытых рудных месторождений. Соотношения вертикальных размахов верхней  $H_1$ , средней  $H_2$ , нижней  $H_3$  частей месторождения, очевидно, зависят от его морфологии и характера залегания. Для пластообразных месторождений с почти горизонтальным залеганием вертикальные размахи верхней и нижней частей будут незначительными, для штокверковых и жильных месторождений с субвертикальным залеганием они будут значительными по сравнению с вертикальным размахом средней части. В рассматриваемых ниже задачах нас интересует отношение вертикального размаха  $H_1$  верхней части месторождения к вертикальному размаху  $H_2$  средней его части:

$$h = H_1 / H_2. \quad (1)$$

Это отношение мы далее называем коэффициентом вертикальной удлинённости или вытянутости месторождения (точнее, этот коэффициент характеризует вытянутость верхней и средней частей месторождения). Его значение больше для тех месторождений, в которых верхняя зона выклинивания имеет значительный вертикальный размах по сравнению с таковым средней, более мощной частью месторождения.

Приведенные выше определения верхней, средней и нижней частей месторождения использованы в табл. 1 при выделении подтипов обнаженных месторождений. Вскрытые (обнаженные) месторождения разделены на вскрытые в верхней, средней и нижней частях. В соответствии с этими определениями месторождения, вскрытые в верхней и нижней частях на дневной поверхности, по масштабам оруденения соответствуют рудопрооявлениям и рудным точкам, вскрытые в средней части — промышленным месторождениям.

Для необнаженных месторождений (полностью скрытые на открытых территориях и полностью перекрытые на закрытых территориях) в табл. 1 подтипы выделены по глубине размещения рудных тел. По этому признаку выделены три градации: малые, средние и большие глубины. Приведенные границы между этими глубинами, как уже отмечено, являются в значительной мере условными и в дальнейшем могут быть уточнены с учетом требований практики в каждом регионе.

При выделении подтипов частично перекрытых месторождений использован принцип разделения месторождения на три равные части по площади на поверхности рельефа: *слабо перекрытые* — обнажены более 2/3 площади месторождения на поверхности рельефа, *средне перекры-*

*тые* — обнажены от 1/3 до 2/3 площади, *сильно перекрытые* — обнажено менее 1/3 площади.

Используя введенные термины, попытаемся сформулировать общую постановку задач. К *скрытым рудным месторождениям* мы относим следующие типы и подтипы, определенные в табл. 1: 1) полностью скрытые, 2) вскрытые в верхней части, 3) полностью перекрытые, 4) сильно перекрытые.

Особый интерес представляет классифицирование рудопрооявлений на вскрытые в верхней, средней и нижней частях. Естественно предположить, что некоторые объекты, определенные на дневной поверхности как рудопрооявления, могут оказаться вскрытыми в верхней части месторождениями (задача «разбраковки»). Открытие месторождений путем оценки известных рудопрооявлений на глубину легче и требует меньше затрат, чем открытие новых месторождений, скрытых на некоторой глубине. Поэтому рудопрооявления представляют хороший фонд для пополнения количества месторождений и расширения ресурсов. Какая доля общего числа известных рудопрооявлений в регионах относится к «вершкам» месторождений? Поскольку существующая дневная поверхность возникла независимо от вертикального распределения месторождений, можно допустить наличие некоторого числа месторождений, размещенных ниже этой поверхности или эродированных в верхней части и обнажающихся как рудопрооявление. Каковы возможные ресурсы этих месторождений в регионах? Кровля фундамента на закрытых площадях по геологическому строению подобна прилегающей открытой территории. Следовательно, там должна быть такая же плотность рудных месторождений, какую мы наблюдаем на открытых площадях. Каковы ресурсы этих перекрытых месторождений? В регионах, где закрытые и полузакрытые территории составляют значительную долю общей площади, прогнозирование перекрытых и частично перекрытых месторождений не менее важно, чем полностью скрытых.

Как можно оценить все отмеченные виды скрытых ресурсов? Когда речь идет об оценке минеральных ресурсов территории, необходимо определить, до каких глубин мы хотим их оценить. Здесь нужно отметить несколько глубин, имеющих отношение к этой проблеме. 1. *Экономически выгодная средняя глубина добычи*. Например, в Узбекистане в нынешних условиях для золоторудных месторождений эта глубина составляет около 200 м от поверхности. 2. *Средняя глубина, до которой разведаны известные месторождения*. Для золоторудных месторождений Узбекистана



эта глубина примерно 400—500 м (за исключением месторождений Мурунтау, Чармитан и некоторых других).

3. *Предельная технически возможная глубина добычи подземными выработками.* Рудные залежи месторождений Витватерсранд и Колар вскрыты горными выработками до глубины около 4000 м. Исходя из этого в настоящее время технически возможная глубина добычи подземными выработками должна быть оценена порядка 4000 м. Рассматривать ресурсы глубже этого уровня даже для богатейших месторождений нет смысла.

Общие металлогенические ресурсы  $R_{\text{общ}}$  скрытых рудных месторождений региона до глубин 400 м составляют: 1) ресурсы промышленных месторождений на открытых территориях, вскрытых на дневной поверхности верхней частью и определенных на этой поверхности как рудопроявления. Эти ресурсы месторождений, вскрытых своими «вершками», обозначим через  $R_{\text{врш}}$ ; 2) ресурсы полностью скрытых месторождений  $R_{\text{скр}}$  на открытых территориях; 3) ресурсы  $R_{\text{пер}}$  полностью перекрытых и частично перекрытых месторождений на закрытых территориях. Когда оцениваются ресурсы до глубин 400 м закрытых территорий, нужно учитывать только те площади, где мощность осадочного чехла над перекрытыми месторождениями не должна превышать 100 м (перекрытые на малых глубинах и часть перекрытых на средних глубинах в табл. 1). Во введенных обозначениях общие металлогенические ресурсы скрытых рудных месторождений региона до глубин 400 м составляют

$$R_{\text{общ}}(400) = R_{\text{врш}} + R_{\text{скр}} + R_{\text{пер}}.$$

Рассмотрим некоторые возможные способы оценки металлогенических ресурсов  $R_{\text{врш}}$ ,  $R_{\text{скр}}$ ,  $R_{\text{пер}}$ .

**Оценка общих металлогенических ресурсов месторождений, вскрытых в верхней части и определенных на дневной поверхности как рудопроявления. Оценка ресурсов вскрытых в верхней части месторождений классифицированием («разбраковкой») рудопроявлений по косвенным признакам.** Это один из наиболее точных способов оценки общих ресурсов данных месторождений. По каждому генетическому, формационному и геолого-промышленному типам месторождений выявляются признаки, характерные для верхней, средней и нижней частей (признаки уровня сечения). Для этого изучается вертикальная зональность руд и околорудных изменений в месторождениях данного типа и определяются признаки уровня сечения для каждого рудопроявления. Эта одна из главных проблем, которая рассматривалась в многочисленных работах по рудным месторождениям.

**Оценка общих ресурсов месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных к рудопроявлениям, по соотношению числа месторождений и рудопроявлений, характерному для данного типа.** Этот метод связан с изучением распределения объектов по размерам для основных генетических и формационных типов месторождений. Существование зависимости размеров эндогенных месторождений от их генетических типов отмечалось многими специалистами [1, 2, 9 и др.]. Обобщая данные по гидротермальным месторождениям золота, Ю.Г.Сафонов [2] пришел к выводу, что из 16 рассмотренных им геолого-генетических типов гидротермальных золоторудных месторождений только 5 типов могут образовывать крупные концентрации 1500—2000 т. Мурунтау относится к одному из этих типов. По данным Р.Бергера, Л.Дрю и др. [7], общие запасы золота в Мурунтауском районе составляют около 4200 т. На основании этого предельная продуктивность золотоносных систем оценивается в 4—5 тыс.т. [2].

Основываясь на многочисленных данных, можно утверждать, что распределение рудных объектов отдельных типов по размерам — важная характеристика рудогенеза в общей и региональной металлогении, содержащей информацию о вероятности генерировать рудным процессом данного типа в определенных условиях крупные концентрации. Согласно

статистическим данным, доля месторождений среди рудных объектов (в данной работе под рудными объектами понимаются месторождения и рудопроявления) для разных генетических и формационных типов варьирует в широком интервале и, по-видимому, также может служить одной из количественных характеристик рудогенеза. Учитывая это, в работе [4] введены коэффициент крупности рудных объектов  $q$ , который определен как относительное количество (в долях единицы или процентах) месторождений в совокупности рудных объектов (близок понятию «интенсивность оруденения», по С.С.Смирнову), и показатель «мелкости»  $w$  рудных объектов, равный отношению числа рудопроявлений к числу месторождений данного типа на исследованной территории (число рудопроявлений, приходящееся на одно месторождение).

Для примера приведем приближенные значения коэффициента крупности для объектов некоторых рудных формаций Чаткало-Кураминского региона в Западном Тянь-Шане, вычисленные нами по карте рудно-магматических систем этого региона [8]. В Чаткало-Кураминском регионе коэффициент крупности  $q$  известных рудных объектов для разных их типов составляет от 0 до 100%. Наибольший коэффициент вычислен для объектов скарновых рудных формаций ( $q$  31%,  $w$  2,2 — на одно месторождение приходится 2,2 рудопроявления), наименьшие — для гидротермальных кварцевых ( $q$  12%,  $w$  7,3 — на одно месторождение приходится 7,3 рудопроявления). По медно-кварцевой рудной формации в регионе известны 194 рудопроявления (получившие собственные названия) и только одно месторождение ( $q$  0,5%). В сульфидно-золото-кварцевой формации очень высокий показатель «мелкости»  $w$  — на одно месторождение приходится 27 рудопроявлений ( $q$  3,6%), а в вольфрамово-скарновой — всего 2 рудопроявления ( $q$  37,5%).

При использовании коэффициента крупности рудных объектов для оценки ресурсов скрытых рудных месторождений постулируется, что этот коэффициент приблизительно постоянен для данного типа месторождений в пределах рассматриваемого региона. Естественно также предположить, что его значение сохраняется и в совокупности рудных объектов, вскрытых в верхней части и, следовательно, несет информацию об относительном числе вскрытых в верхней части месторождений среди известных рудопроявлений. В частности, основываясь на приведенных значениях этого коэффициента, можно утверждать: вероятность того, что данное рудопроявление представляет собой вскрытое в верхней части месторождение, значительно меньше для медно-кварцево-рудной формации, чем для вольфрамово-скарновой.

Приведенные выше оценки коэффициента крупности очень приблизительны, и их невозможно использовать для количественной оценки ресурсов вскрытых в верхней части месторождений. Эти оценки следует рассматривать как первое приближение к истинным его значениям, т.к. в число рудопроявлений включены также и те, которые могут оказаться «вершками» месторождений. Кроме того, недостаточно точны и неоднозначны способы отнесения объектов к рудопроявлениям и рудным точкам. Таким образом, для оценки по данному методу числа вскрытых в верхней части месторождений, определенных на дневной поверхности как рудопроявления, необходимо достаточно точно определить коэффициент крупности для данного типа рудных объектов. Точное значение коэффициента крупности может быть определено разными способами. В зависимости от этого мы рассмотрим следующие две модификации данного метода.

1. В хорошо изученных на глубину рудных районах и полях, где рудопроявления «разбракованы», можно определить точный коэффициент крупности рудных объектов данного типа, которое обозначим через  $q_0$ . Затем этот ко-



эффицент можно использовать в менее изученных районах региона. Пусть в некотором районе данного региона известно  $n$  рудопоявлений, не оцененных на глубину. Среди них могут быть месторождения, эродированные в верхней части. Число таких месторождений обозначим через  $x$ .  $N$  — число известных месторождений данного типа в этом районе. Точное значение коэффициента крупности для этого района будет равно

$$q = (N+x)/(N+n). \quad (2)$$

Исходя из упомянутого выше постулата постоянства коэффициента крупности для данного типа оруденения, можем написать

$$q_0 = q(N+x)/(N+n). \quad (3)$$

Из этого равенства находим  $x$

$$x = q_0(N+n) - N. \quad (4)$$

2. Для нахождения коэффициента крупности используется распределение запасов разведанных и отработанных месторождений данного типа. Затем вычисления выполняются как и в первом варианте. Аппроксимируя распределение известных запасов разведанных и отработанных месторождений данного типа, найдем закон распределения запасов  $P(y)$ , где  $y$  — запасы,  $P(y)$  — плотность распределения. Пусть  $a_1$  — граничные запасы, разделяющие месторождения и рудопоявления данного типа,  $a_2$  — разделяющие рудопоявления и рудные точки.

Тогда доля рудопоявлений в общем числе рудопоявлений и месторождений равна

$$m = \int_{a_1}^{a_2} P(y) dy. \quad (5)$$

Доля месторождений равна

$$M = \int_{a_2}^{\infty} P(y) dy. \quad (6)$$

Коэффициент крупности составляет

$$q_0 = M/(M+m). \quad (7)$$

При допущении постоянства этого отношения для данного типа месторождений, как в первом случае, получим:

$$q_0 = q(N+x)/(N+n).$$

Из этого равенства найдем:

$$x = q_0(N+n) - N.$$

Очевидно, во всех этих выкладках мы исходим из того, что месторождения и рудопоявления относятся к одному рассматриваемому типу.

**Оценка общих ресурсов месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных к рудопоявлениям, по вертикальному распределению месторождений.** Исходными для этого метода являются следующие условия: 1) из-за хорошей геологической изученности региона почти все обнажающиеся на дневной поверхности рудные объекты, оцениваемые на этой поверхности или вблизи нее как промышленные месторождения (т.е. вскрытые в средней части), уже обнаружены; 2) вертикальное распределение рудных месторождений в пределах первых сотен метров можно считать равномерным. Второе исходное условие основано на данных статистического гипсометрического анализа рудных месторождений Средней Азии [5]. Оно означает, что если поверхность рельефа проходила бы на 100—300 м ниже настоящей дневной поверхности, мы наблюдали бы на ней приблизительно такую же плотность размещения месторождений, какую сейчас имеем на дневной поверхности.

Пусть рассматриваются месторождения некоторого типа на исследуемой территории. Средний вертикальный размах (в м) месторождений обозначим через  $\bar{H}$ , средние

вертикальные размахи верхних, средних и нижних частей месторождений, соответственно, через  $\bar{H}_1$ ,  $\bar{H}_2$ ,  $\bar{H}_3$ .

При вертикальном равномерном распределении месторождений (условие 2) и случайности пересечения их поверхностью рельефа вероятности вскрытия каждого месторождения на дневной поверхности в верхней, средней и нижней частях пропорциональны соответственно вертикальным размахам этих частей. Поэтому число месторождений, вскрытых в верхней, средней и нижней частях, пропорционально средним вертикальным размахам этих частей

$$N_1 = C\bar{H}_1; \quad (8)$$

$$N_2 = C\bar{H}_2; \quad (9)$$

$$N_3 = C\bar{H}_3, \quad (10)$$

где  $C$  — коэффициент пропорциональности;  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  — число месторождений, вскрытых соответственно в верхней, средней и нижней частях.

Из уравнений (8) и (9) получим

$$N_1 = N_2(\bar{H}_1/\bar{H}_2). \quad (11)$$

Будем исходить из того, что большая часть известных месторождений вскрыта на дневной поверхности в средних частях (иначе они на дневной поверхности были бы оценены как рудопоявления). При справедливости нашей исходной посылки о том, что из-за хорошей изученности территории почти все месторождения, обнажающиеся на дневной поверхности, уже обнаружены (условие 1), справедливо приближенное равенство

$$N_2 \approx N, \quad (12)$$

где  $N$  — как и выше, число известных месторождений данного типа;  $N_2$  — число всех месторождений данного типа, вскрытых на дневной поверхности в средней части.

Будем также исходить из того, что подавляющее большинство месторождений, вскрытых в верхней части, на дневной поверхности отнесены к рудопоявлениям, т.е. справедливо приближенное равенство

$$x \approx N_1, \quad (13)$$

где  $x$  — как и выше, число месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопоявлениям.

Из уравнений (11)—(13) получим

$$x \approx N(\bar{H}_1/\bar{H}_2). \quad (14)$$

Таким образом, число  $x$  месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопоявлениям, прямо пропорционально числу  $N$  известных месторождений данного типа, с коэффициентом пропорциональности, равном отношению среднего вертикального размаха  $\bar{H}_1$  верхних частей месторождений к такому  $\bar{H}_2$  средних частей месторождений.

Используя введенный выше коэффициент удлиненности (1), соотношение (14) перепишем в следующем виде:

$$x \approx \bar{h}N; \quad (15)$$

$$\bar{h} = \bar{H}_1/\bar{H}_2, \quad (16)$$

где  $\bar{h}$  — среднее значение коэффициента вертикальной удлиненности (вытянутости) месторождений данного типа на рассматриваемой территории.

Таким образом, согласно уравнению (15), число  $x$  месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопоявлениям, приблизительно равно числу  $N$  известных месторождений данного типа на рассматриваемой территории, помноженному на среднее значение  $\bar{h}$  коэффициента вертикальной удлиненности (вытянутости) месторождений.



В первом приближении, вероятно, можно допустить, что средние вертикальные размахи нижней и верхней частей приблизительно равны

$$\bar{H}_1 \approx \bar{H}_3. \quad (17)$$

Согласно выражениям (8), (10) и (17), число месторождений, вскрытых на дневной поверхности в нижней части и отнесенных к рудопроявлениям, определяются также выражениями, аналогичными (14) и (15):

$$\bar{N}_3 \approx N(\bar{H}_1/\bar{H}_2); \quad (18)$$

$$N_3 \approx \bar{h}N. \quad (19)$$

Число собственно рудопроявлений, т.е. таких рудных объектов, которые по запасам не могут быть отнесены к промышленным месторождениям, обозначим через  $n_0$  (сюда включены и рудные объекты, которые раньше были месторождениями, затем уничтожены денудацией и сейс-час от них остались лишь нижние части — «корешки»). Число собственно рудопроявлений равно

$$n_0 = n - x \approx n - N(\bar{H}_1/\bar{H}_2) = n - \bar{h}N, \quad (20)$$

где  $n$  — как было обозначено выше, число всех известных объектов, определенных на дневной поверхности как рудопроявления.

Исходя из независимости положения поверхности рельефа относительно месторождений, можно допустить, что распределения по размерам для выборок месторождений, вскрытых на дневной поверхности в средней и верхней частях, примерно одинаковые. Отсюда с учетом соотношений (14) и (15) следуют приближенные равенства:

$$y \approx Q(\bar{H}_1/\bar{H}_2); \quad (21)$$

$$y \approx \bar{h}Q, \quad (22)$$

где  $Q$  — общие запасы известных месторождений данного типа (исключая, вероятно, запасы уникальных месторождений, резко выделяющихся из статистического ряда);  $y$  — оценка общих металлогенических ресурсов месторождений данного типа, вскрытых на дневной поверхности в верхней части и отнесенных к рудопроявлениям.

Согласно формуле (22), общие металлогенические ресурсы месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопроявлениям, приблизительно равны общим запасам известных месторождений данного типа на исследуемой территории, помноженным на среднее значение коэффициента вертикальной удлиненности (вытянутости) месторождений. Таким образом, для определения по формулам (15) и (22) числа  $x$  месторождений, вскрытых в верхних частях и отнесенных на дневной поверхности к рудопроявлениям, или общих металлогенических ресурсов  $y$  этих месторождений необходимо знать число  $N$  или общие запасы  $Q$  известных месторождений данного типа на рассматриваемой территории и среднее значение  $\bar{h}$  коэффициента вертикальной удлиненности (вытянутости) месторождений. Число месторождений, открытых на исследуемой территории, и общие их запасы известны, однако у нас нет информации о коэффициенте вертикальной удлиненности (вытянутости). Этот коэффициент, как уже отмечалось, зависит от морфологии месторождения и, следовательно, имеет различные значения для разных генетических и формационных типов месторождений. В будущем, по-видимому, будут получены более точные значения этого коэффициента для разных типов месторождений. В данной работе мы ограничимся тем, что сделаем некоторые предположения относительно нижнего и верхнего пределов этого коэффициента. Будем исходить из того, что для получения нижнего предела оценки этого коэффициента в первом приближении можно допустить, что средний вертикальный размах верхних частей месторождений приблизительно в два раза меньше такового средних частей месторождений, т.е.

$$\bar{H}_1 \approx 0,5\bar{H}_2, \quad (23)$$

тогда по определению (1) коэффициент удлиненности равен 0,5

$$\bar{h}_1 = \bar{H}_1/\bar{H}_2 \approx 0,5. \quad (24)$$

Для получения верхнего предела коэффициента вертикальной удлиненности предположим, что средний вертикальный размах верхних частей месторождений приблизительно равен таковому средним частей месторождений

$$\bar{H}_1 \approx \bar{H}_2, \quad (25)$$

тогда коэффициент вертикальной удлиненности равен 1

$$\bar{h}_2 = \bar{H}_1/\bar{H}_2 \approx 1. \quad (26)$$

Подставив оценки  $\bar{h}_1 = 0,5$ ;  $\bar{h}_2 = 1$  коэффициента вертикальной удлиненности в выражение (15), получим нижний  $x'$  и верхний  $x''$  пределы оценки числа месторождений, вскрытых в верхней части и определенных на дневной поверхности как рудопроявления:

$$x' \approx 0,5N; \quad (27)$$

$$x'' \approx N. \quad (28)$$

Аналогично из выражений (22), (24) и (26) получим нижний  $y'$  и верхний  $y''$  пределы оценки общих металлогенических ресурсов месторождений, вскрытых в верхней части и определенных на дневной поверхности как рудопроявления:

$$y' \approx 0,5Q; \quad (29)$$

$$y'' \approx Q. \quad (30)$$

Таким образом, согласно выражениям (27) и (28), если справедливы наши допущения (23) и (25), нижняя оценка числа месторождений, вскрытых в верхней части и определенных на дневной поверхности как рудопроявления, равна половине, а верхняя — общему числу известных месторождений данного типа на исследуемой территории. Согласно уравнениям (29) и (30), в первом приближении нижняя оценка общих металлогенических ресурсов месторождений, вскрытых в верхней части и определенных на дневной поверхности как рудопроявления, равна половине, а верхняя — общим запасам известных месторождений данного типа на исследуемой территории.

Приведем примеры применения описанного метода в регионах Узбекистана. Число месторождений, рудопроявлений и рудных точек различных металлов в рудных районах Узбекистана не одинаково в различных литературных источниках. При этом разброс касается в основном числа рудопроявлений и рудных точек, а число месторождений известно более достоверно. Это очень существенно, т.к. по конечным формулам (14), (15), (21), (22) оценка числа месторождений, вскрытых в верхней части и определенных на дневной поверхности как рудопроявления, а также оценка общих металлогенических ресурсов таких месторождений проводятся именно по числу известных месторождений (а не рудопроявлений) и их общим запасам.

По данным Навоийского горно-металлургического комбината (1996 г.), в Центральных Кызылкумах к настоящему времени выявлены 22 месторождения золота, большинство которых генетически однотипны. Следовательно, согласно формулам (27) и (28), число золоторудных месторождений в этом регионе, пересеченных поверхностью рельефа в верхней части и отнесенных к рудопроявлениям, должно составлять от 11 до 22. Это те рудопроявления, которые на большей глубине переходят в месторождения. По данным этого же комбината, в данном регионе к настоящему времени известны 155 рудных точек и рудопроявлений золота. Из них 133—144 объекта по масштабам действительно представляют собой рудопроявления и рудные точки. Аналогично оценено число месторождений других типов, эродированных в верхней части и отнесенных к рудопроявлениям.



**2. Оценки числа месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопрооявлениям, домезозойские формации Цетральных Кызылкумов**

| Месторождения | Число известных рудопрооявлений | Нижний и верхний пределы оценки числа месторождений, отнесенных к рудопрооявлениям |
|---------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Золоторудные  | 155                             | 11—22                                                                              |
| Серебряные    | 16                              | 1—3                                                                                |
| Урановые      | 25                              | 5—10                                                                               |
| Вольфрамовые  | 38                              | 2—4                                                                                |
| Медные        | 41                              | 1—2                                                                                |

Результаты приведены в табл. 2. Для сравнения здесь приведено число рудопрооявлений соответствующих типов.

Данные о числе известных месторождений разных видов в Чаткало-Кураминском регионе извлечены из карты рудных и рудно-магматических систем этого региона [8]. По этим данным для региона определено число месторождений различных видов и рудных формаций, пересеченных поверхностью рельефа в верхней части и отнесенных к рудопрооявлениям. Эти данные приведены в табл. 3, 4. Здесь же для сравнения приведено число известных рудопрооявлений соответствующих видов и формаций, получивших собственные названия (масштабы которых представляю практический интерес). Данные о числе рудопрооявлений также получены из указанной карты.

Приведенные оценки могут быть в дальнейшем уточнены, если будут получены данные по морфологии верхних частей месторождений разных типов, которые позволят более точно определить среднее значение коэффициента вертикальной удлинненности, входящее в основные формулы (15) и (22). Например, в Цетральных Кызылкумах и Чаткало-Кураминском регионе развиты разные типы золоторудных месторождений, отличающиеся, в частности, и по морфологии. Следовательно, средние значения коэффициента вертикальной удлинненности для этих двух регионов также должны отличаться.

**3. Оценки числа месторождений различных видов, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопрооявлениям, Чаткало-Кураминский регион**

| Месторождения              | Число известных рудо-прооявлений | Нижний и верхний пределы оценки числа месторождений, отнесенных к рудопрооявлениям |
|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Железорудные               | 31                               | 4—7                                                                                |
| Медные                     | 230                              | 8—15                                                                               |
| Свинцово-цинковые          | 423                              | 54—108                                                                             |
| Оловянные                  | 34                               | 3—5                                                                                |
| Вольфрамовые               | 42                               | 9—18                                                                               |
| Молибденовые               | 22                               | 2—4                                                                                |
| Сурьмяные                  | 12                               | 3—7                                                                                |
| Ртутные                    | 10                               | 1—2                                                                                |
| Висмутовые                 | 143                              | 13—25                                                                              |
| Золоторудные (вместе с Ag) | 373                              | 22—53                                                                              |
| Флюоритовые                | 125                              | 13—26                                                                              |

**4. Оценки числа месторождений основных рудных формаций, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопрооявлениям, Чаткало-Кураминский регион**

| Рудная формация                 | Число известных рудо-прооявлений | Нижний и верхний пределы оценки числа месторождений, отнесенных к рудопрооявлениям |
|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Железорудно-скарновая           | 31                               | 4—7                                                                                |
| Медно-кварцевая                 | 200                              | 2—4                                                                                |
| Медно-порфировая                | 15                               | 4—9                                                                                |
| Свинцово-цинково-кварцевая      | 251                              | 15—30                                                                              |
| Свинцово-цинково-пропилитовая   | 70                               | 20—40                                                                              |
| Оловянно-грейзеновая            | 8                                | 0—1                                                                                |
| Оловянно-кварцевая              | 16                               | 1—2                                                                                |
| Вольфрамово-скарновая           | 5                                | 2—3                                                                                |
| Сульфидно-вольфрамово-кварцевая | 12                               | 2—4                                                                                |
| Вольфрамово-грейзеновая         | 9                                | 0—1                                                                                |
| Медно-молибденово-скарновая     | 10                               | 1—2                                                                                |
| Золотосурьмяно-кварцевая        | 4                                | 0—1                                                                                |
| Медно-висмутово-кварцевая       | 140                              | 9—18                                                                               |
| Сульфидно-золотокварцевая       | 211                              | 11—21                                                                              |
| Золотокварцевая                 | 64                               | 6—12                                                                               |
| Сульфидно-золотоскарновая       | 22                               | 4—8                                                                                |
| Золотоколчеданная               | 22                               | 1—2                                                                                |
| Серебро-золотокварцевая         | 51                               | 4—8                                                                                |
| Уран-молибденовая               | 55                               | 9—18                                                                               |
| Кварц-карбонатно-флюоритовая    | 134                              | 13—25                                                                              |

**Оценка общих ресурсов полностью скрытых рудных месторождений.** Таким образом, общие ресурсы месторождений, вскрытых в верхней части и отнесенных на дневной поверхности к рудопрооявлениям, могут быть оценены несколькими независимыми способами. Как оценить ресурсы полностью скрытых рудных месторождений (по определению в табл. 1)? Для оценки этих ресурсов предложим следующий метод.

**Оценивание ресурсов полностью скрытых месторождений методами гипсометрического металлогенического анализа.** Суть этого метода сводится к следующему. По статистическому гипсометрическому методу, предложенному в работе [5], построим плотность вертикального распределения месторождений данного типа. По гипсометрическому методу могут быть построены плотности вертикального распределения месторождений только в вертикальном интервале, в котором варьируют высотные отметки рельефа в пределах открытых территорий. Построенная для этого интервала кривая плотности затем экстраполируется в более глубокие, не вскрытые эрозией горизонты. Кривые должны быть построены с учетом размеров месторождений, т.к. опыт работы [5] показывает, что распределения крупных и мелких месторождений по вертикали отличаются (в работе [5] это объясняется различными условиями их формирования). К тому же оценивать ресурсы на значительных глубинах имеет смысл только для круп-



ных месторождений, т.к. мелкие месторождения разрабатывать на этих глубинах экономически не оправдано.

В качестве примера приведем вертикальные распределения крупных и мелких рудных месторождений Средней Азии. В табл. 5 приведены оценки плотности этих распределений по интервалам абсолютных высотных отметок от 200 до 6000 м. Построенные по этим данным кривые плотности показаны на рисунке. По гипсометрическим металлогеническим данным для многих регионов (Кураминский хребет, Забайкалье и др.) установлено, что плотности вертикального распределения большинства типов месторождений — приблизительно симметричные одновершинные кривые, максимум плотности на которых соответствует продуктивному горизонту. Вниз и вверх от этого горизонта плотность месторождений монотонно уменьшается. На рисунке и из табл. 5 видно, что для мелких месторождений в современном рельефе обнажается значительная часть вертикального распределения. Для них максимум плотности наблюдается на высотных отметках 1500—1900 м. Вниз и вверх от этого интервала плотность монотонно уменьшается. Для крупных месторождений в современном рельефе обнажается только верхняя часть распределения (см. табл. 5, рисунок). Нижняя монотонно убывающая часть распределения находится ниже 200 м и еще не вскрыта эрозией. Отсюда можно заключить, что общие ресурсы скрытых крупных рудных месторождений этого региона глубже 200 м приблизительно равны ресурсам таких месторождений выше уровня.

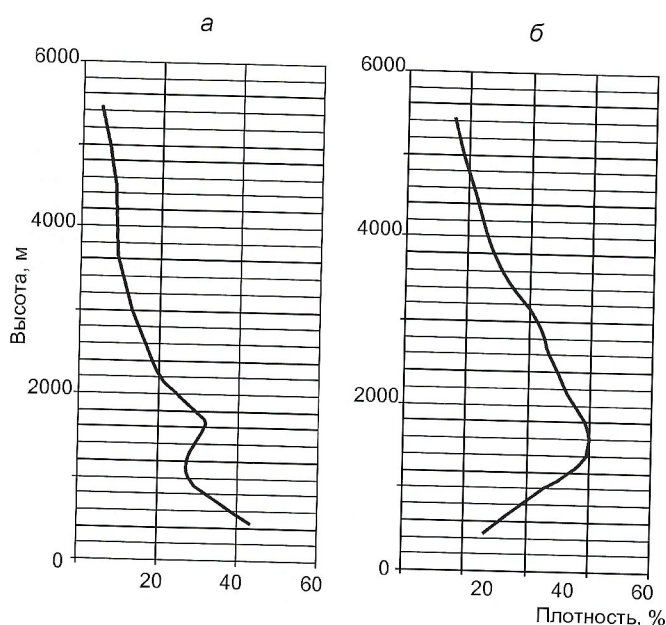
**Оценка ресурсов перекрытых месторождений на закрытых территориях.** В закрытых и полужакрытых районах для оценки металлогенических ресурсов месторождений, погребенных под «чехлом», можно использовать информацию о закономерностях размещения металлогенических и рудных объектов (поясов, зон, полей, месторождений), полученную в соседних районах, где месторождения и породы фундамента обнажены на поверхности рельефа. Оценка осуществляется путем экстраполяции этих закономерностей в закрытые части территории. Очевидно, такая экстраполяция возможна в случае, когда открытые и закрытые части региона имеют сходное геологическое строение. Формально это сводится к выполнению определенных условий однородности полей геологических и геофизических признаков.

Для оценки металлогенических ресурсов перекрытых месторождений на закрытых и полужакрытых территориях предлагаем следующий способ: 1) на открытой части территории (где формации фундамента выходят на дневную поверхность) исследуются зависимости между известными месторождениями и такими геологическими и геофизическими признаками, которые можно наблюдать (или измерять) и на открытой, и на закрытой частях территории; 2) среди последних выделяются информативные признаки (т.е. связанные с месторождениями данного типа); 3) для этих признаков по открытой территории вычисляются средние плотности размещения известных месторождений данного типа; 4) на закрытых территориях выделяются площади с информативными признаками (для геофизических полей — с учетом влияния осадочного чехла); 5) на эти площади экстраполируются плотности месторождений, вычисленные для открытой части территории и по значениям выделенных на закрытой территории площадей вычисляются оценки ресурсов отдельно по каждому информативному признаку, затем определяется средняя оценка.

Подробное описание метода с математическими выкладками дано в работе [3], где этот метод апробирован на примере закрытых и полужакрытых территорий Средней Азии. Исследовались следующие геологические и геофизические признаки, несущие информацию о глубинном строении: глубина залегания поверхности Мохоровичича и кровли гранитоидного слоя, аномалии гравитацион-

5. Оценки плотности вертикального распределения крупных и мелких рудных месторождений Средней Азии

| Высотные интервалы, м |                | Плотности распределения месторождений |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------------------|--------|
| Верхняя граница       | Нижняя граница | Крупные                               | Мелкие |
| 6000                  | 4900           | 4,6                                   | 7,3    |
| 4900                  | 4100           | 8,4                                   | 11,2   |
| 4100                  | 3200           | 9,2                                   | 15,3   |
| 3200                  | 2800           | 12,9                                  | 21,3   |
| 2800                  | 2400           | 16,5                                  | 23,3   |
| 2400                  | 1900           | 21,3                                  | 26,2   |
| 1900                  | 1500           | 31,7                                  | 29,8   |
| 1500                  | 1100           | 28,2                                  | 28,6   |
| 1100                  | 700            | 29,4                                  | 20,9   |
| 700                   | 200            | 43,6                                  | 13,1   |



Плотности вертикального распределения крупных (а) и мелких (б) рудных месторождений Средней Азии

ного и магнитного полей, линеаменты и кольцевые структуры. Среди этих признаков для месторождений свинца, цинка и вольфрама наиболее информативными оказались аномалии гравитационного поля в редукции Буге и глубина залегания кровли гранитоидного слоя (на большей части территории соответствует общей мощности палеозойских образований). По этим данным для закрытых и полужакрытых территорий (с мощностью мезокайнозойского чехла менее 500 м) построены схемы в изолиниях прогнозируемого количества металлов. По полученным результатам было определено, что металлогенические ресурсы закрытых территорий превышают известные ресурсы открытых территорий для свинца, цинка и вольфрама в 1,3—1,5; 1,4—3,4 и 1,1—1,9 раза соответственно.

**Оценка скрытых рудных ресурсов компьютерным моделированием пространственного распределения месторождений.** Необходимые исходные эмпирические данные для моделирования можно собрать по открытой части региона, поэтому моделирование проводится для этой части. Результаты моделирования можно распространить и на закрытые части региона, рассматривая вместо поверхности рельефа кровлю фундамента. Такая экстраполяция, оче-



видно, возможна, если геологическое строение открытой и закрытой частей региона сходное.

Поскольку при решении рассматриваемых задач нас интересует положение месторождений по вертикали относительно поверхности рельефа, условия моделирования можно значительно упростить, моделируя не сами месторождения, а их вертикальный размах в виде отрезков вертикальных прямых.

Предлагаемая схема алгоритма моделирования сводится к следующему.

1. Территория разбивается на ячейки в географической системе координат (шаг ячейки зависит от детальности исследований). Используя топографические карты для каждой ячейки в открытой части региона, определяется средняя гипсометрическая отметка рельефа.

2. Используя карту месторождений, строится плотность  $P(\varphi, \lambda)$  распределения месторождений на горизонтальной плоскости (здесь  $\varphi, \lambda$  — соответственно широта и долгота).

3. По указанному выше методу статистического гипсометрического металлогенического анализа строится плотность  $R(z)$  вертикального распределения месторождений исследуемого типа.

4. По данным разведанных месторождений находится распределение  $Q(h)$  вертикальных размахов месторождений.

5. На компьютере моделируются статистические испытания. В каждом испытании генерируются: а) случайные значения широты и долготы месторождения в соответствии с плотностью горизонтального распределения месторождений  $P(\varphi, \lambda)$ ; б) случайное значение координаты месторождения по вертикали  $z$  в соответствии с плотностью вертикального распределения месторождений  $R(z)$ ; в) случайное значение вертикального размаха месторождения в соответствии с плотностью распределения  $Q(h)$ . По полученным значениям случайных величин строится вертикальный отрезок длиной  $h$  с центром в точке  $(\varphi, \lambda, z)$ . Находим ячейку, в которую попадает точка  $(\varphi, \lambda)$ , и найдем среднюю гипсометрическую отметку для этой ячейки. Сравнивая эту отметку с координатой  $z$  и длиной  $h$  построенного отрезка, определим смоделированное положение месторождения по вертикали относительно поверхности рельефа.

При реализации этой схемы основные трудности могут возникнуть в связи с недостаточностью исходных данных для моделирования. В этом случае в схему могут быть внесены следующие изменения. 1. Если число месторождений недостаточное для построения плотности их распределения  $P(\delta, \lambda)$  на горизонтальной плоскости, приходится использовать также рудопроявления и построить плотность распределения рудных объектов (месторождений и рудопроявлений). В этом случае в каждом испытании дополнительно к указанным выше величинам генерируется также случайное значение бинарного качественного признака «месторождение» и «не месторождение» (рудопроявление): с вероятностью  $q$  (здесь  $q$  — коэффициент крупности, доли единицы) выбирается «месторождение» и с вероятностью  $1-q$  выбирается «рудопроявление». Если выбрано «рудопроявление», то нужно перейти к следующему испытанию; если выбрано «месторождение», то строится вертикальный отрезок с центром в точке  $(\varphi, \lambda, z)$ . 2. Когда отсутствуют данные для построения распределения вертикального размаха месторождений, для оценки статистик в первом приближении можно использовать оценку среднего их вертикального размаха. При этом в каждом испытании вместо случайной величины  $h$  берется средний размах месторождений  $\bar{h}$ . 3. Плотность вертикального распределения месторождений можно построить в регионах, в открытых частях которых высота рельефа варьирует в значительных пределах. В регионах, где это условие не выполняется, приходится ограничить вертикальный интервал моделирования первыми

сотнями метров от дневной поверхности, в пределах которых вертикальное распределение месторождений можно считать равномерным.

Проводятся  $K$  серий испытаний. В каждой серии испытания останавливаются тогда, когда число отрезков, пересеченных поверхностью рельефа в средней части (в соответствии с определением выше средней части месторождения по масштабам оруденения в сечениях), станет равным числу известных месторождений данного типа в регионе. Затем по результатам серии испытаний подсчитываются оценки числа месторождений, пересеченных поверхностью рельефа в верхней и нижней частях, число полностью скрытых месторождений в заданном интервале глубин. По результатам ряда серий испытаний вычисляются средние оценки этих величин. В изложенной схеме моделирования все процедуры, за исключением подготовки исходных данных, можно реализовать в компьютерных программах.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы.

1. Для оценки в регионах общих ресурсов месторождений, вскрытых в верхней части и на дневной поверхности отнесенных к рудопроявлениям, предложены два метода. Первый из них основан на использовании коэффициента крупности рудных объектов, определенного как доля месторождений в совокупности рудных объектов (месторождений и рудопроявлений), который на основании эмпирических данных предполагается постоянным для месторождений данного генетического и формационного типа. По этому методу выведена следующая формула для оценки числа  $x$  месторождений, вскрытых в верхней части и на дневной поверхности отнесенных к рудопроявлениям

$$x = q_0(N+n) - N,$$

где  $q_0$  — коэффициент крупности для рудных объектов данного типа;  $N$  и  $n$  — число известных на рассматриваемой территории соответственно месторождений и рудопроявлений данного типа.

Второй метод основан на допущении равномерного вертикального распределения рудных месторождений в пределах первых сотен метров. Возможность такого допущения вытекает из результатов гипсометрического металлогенического анализа Средней Азии. По этому методу выведены следующие формулы для оценки числа  $x$  и общих металлогенических ресурсов  $y$  месторождений, вскрытых в верхней части и на дневной поверхности отнесенных к рудопроявлениям

$$x \approx \bar{h}N;$$

$$y \approx \bar{h}Q,$$

где  $\bar{h}$  — среднее значение коэффициента удлиненности, введенного в настоящей работе;  $N$  и  $Q$  — соответственно число и общие запасы известных месторождений данного типа на исследуемой территории.

2. Для оценки общих металлогенических ресурсов полностью скрытых рудных месторождений предложен метод статистического металлогенического анализа, основанный на экстраполяции кривой плотности вертикального распределения месторождений в более глубокие горизонты.

3. Оценку ресурсов полностью перекрытых и сильно перекрытых месторождений на закрытых и полузакрытых территориях можно получить по методу, основанному на сходстве геологического строения открытых частей региона с фундаментом закрытых частей и экстраполяции закономерностей, выявленных на открытых территориях, на фундамент закрытых территорий.

4. Наиболее универсальный способ оценки общих металлогенических ресурсов скрытых рудных месторождений — моделирование вертикального распределения рудных месторождений и их положения относительно рельефа. Предложена методика такого моделирования.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаверов Н.П., Сминкстон А.О., Шумилин М.В. Зарубежные месторождения урана. — М.: Наука, 1983.
2. Сафонов Ю.Г. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность—геолого-генетические типы—продуктивность рудообразующих систем // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 1. С. 25—40.
3. Усманов Ф.А., Шарипова А.А. Количественное прогнозирование рудоносности закрытых территорий // Металлогенические проблемы в Средней Азии. Ташкент, 1987. С. 164—169.
4. Усманов Ф.А. Прогнозирование рудных месторождений: современное состояние, проблемы, перспективы // Основные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан. Кн. 2. Ташкент, 1997. С. 14—26.
5. Усманов Ф.А. Статистический гипсометрический анализ. 1. Распределение эндогенных месторождений Средней Азии по вертикали // Узб. геол. журнал. 1998. № 2. С. 39—61.
6. Чумаченко Б.А., Марченко В.В., Власов Е.П. и др. Человеко-машинная система оценки перспектив рудоносности территорий // Автоматизированная обработка геологических данных. М., 1984. С. 159—162.
7. Berger R.B., Drew L.J., Goldfarb R.I., Snee L.W. An epoch of gold riches: the late paleozoic in Uzbekistan, Central Asia // SEG Newsletter. 1994. № 6. P. 5—11.
8. Shayakubov T.Sh., Korzhaev V.P., Golovanov I.M., Islamov F.I. Ore-magmatic system of Median Tien-Shan // 30 th IGC. Beijing. China. Abstracts. Vol. 2. P. 637.
9. Singer D.A. World class base and precious metal deposits — A quantitative analysis // Econ. Geol. 1995. Vol. 90. P. 88—104.

© Х.Х.Жураев, В.Я.Зималина, М.У.Исаков, 2003

## Геологические особенности золоторудного месторождения Аджибугут

Х.Х.ЖУРАЕВ (Даугызтауская ПГРЭ ГПП «Самаркандгеология»), В.Я.ЗИМАЛИНА, М.У.ИСАКОВ (Институт минеральных ресурсов Госкомгео РУз)

Месторождение Аджибугут расположено в юго-восточном окончании гор Ауминзатау на территории, перекрытой мезокайнозойскими отложениями, в северном крыле Ауминза-Бельтауской антиклинали, ось которой вытянута в запад—северо-западном направлении по азимуту 290—300°. Северное крыло этой антиклинали осложнено складками более высоких порядков. Одна из них — Коспактау-Аджибугутская синклиналь шириной 1—3 км [1—3]. С северо-востока и юго-запада она ограничена крутопадающими Северным и Южно-Коспактауским разломами, приобретающими облик грабен-синклинали, которая выполнена отложениями первой и второй подсвит бесапанской свиты мощностью 350—400 м в восточной части месторождения (рис. 1).

Контакт в грабен-синклинали пород бесапана с тасказганом тектонический, осложненный межформационным срывом. Падение пород от пологого 35—45° до крутого 70—75° на юг.

Южнее и севернее Коспактау-Аджибугутской синклинали расположены две антиклинальные складки, обрамляющие Аджибугутскую грабен-синклиналь. Простираются их осей 280—300°. Ядерная часть южной антиклинали, слагающая горную гряду, на юге месторождения представлена полосчатыми кремнями с прослоями кремнистых сланцев, а также углеродисто-, кремнисто- и углеродисто-полевошпат-слюдистых сланцев верхнетасказганской подсвиты. Южное крыло, находящееся за пределами месторождения, сложено метаалевролитами, метапесчаниками и разнообразными по составу сланцами бесапанской свиты. Общее падение пород северного крыла крутое (60—80°), южного — более пологое (40—60°). Северная антиклиналь эродирована, полностью перекрыта мезокайнозойскими отложениями мощностью 10—70 м. Северное крыло сложено породами верхнетасказганской подсвиты: кремни, кремнистые углеродисто-кварц-слюдистые сланцы, южное крыло — кремни, кремнистые углеродисто-кварц-слюдистые сланцы, метаалевролиты и песчаники.

Разрывные нарушения Аджибугутской площади представлены субширотными, северо-западными, восток—северо-восточными и субмеридиональными разломами. Южно-Аджибугутский разлом — южное ограничение Аджибугутской грабен-синклинали, вдоль которой проходит тектонический контакт образований тасказганской и бесапанской свит. Простирается его широтное 270—280°, угол падения в восточной части месторождения достигает

65°, на западе более крутое — до 80° на юг. Он является главной рудофокусирующей структурой месторождения. Северный разлом широтного направления ограничивает месторождение с севера, падение северное под углом 60—65°, мощность 100—150 м.

В пределах площади месторождения широко распространены разломы северо-западного направления сбросового и сбросово-сдвигового характера с простираем 305—310° в западной части месторождения и 280—290° на восточном фланге с углами падения 40—85°. Восток—северо-восточные разломы играют важную роль в размещении золотого оруденения. В местах, где эти разломы косо пересекают рудовмещающие структуры, наблюдается уменьшение их мощностей. Помимо главных разрывных нарушений субширотного, северо-западного и восток—северо-восточного направлений на исследуемой площади по документации горных выработок и скважин установлены многочисленные мелкие разломы, трещины и зоны смятия, оперяющие разрывные нарушения и играющие основную роль в размещении золоторудной минерализации.

В геологическом строении месторождения Аджибугут принимают участие метаморфизованные образования тасказганской и бесапанской свит верхнего протерозоя—нижнего палеозоя, а также верхнемеловые и неоген—четвертичные отложения. Тасказганская свита представлена кремнисто-терригенными и существенно-терригенными разностями. Кремнисто-терригенная пачка состоит в основном из углеродисто-кремнисто-слюдистых и углеродисто-полевошпат-кварцевых сланцев с тонкополосчатыми линзовидными прослоями углеродистых микрокварцитов мощностью 0,5—12 м. Существенно терригенная толща представлена кварц-полевошпат-серицитовыми тонкослоистыми сланцами с единичными непротяженными линзами темно-серых грубополосчатых массивных микрокварцитов мощностью до 10 м.

Бесапанская свита развита в центральной части месторождения на всей площади грабен-синклинали. Контакт с тасказганской свитой тектонический. Вертикальная мощность свиты в центральной и восточной частях месторождения 200—400 м. В целом этот показатель определяет вертикальный размах оруденения месторождения Аджибугут, т.к. в нем локализованы основные золоторудные тела, а в тасказганских подстилающих породах единичными колонковыми скважинами вскрыты маломощные единич-



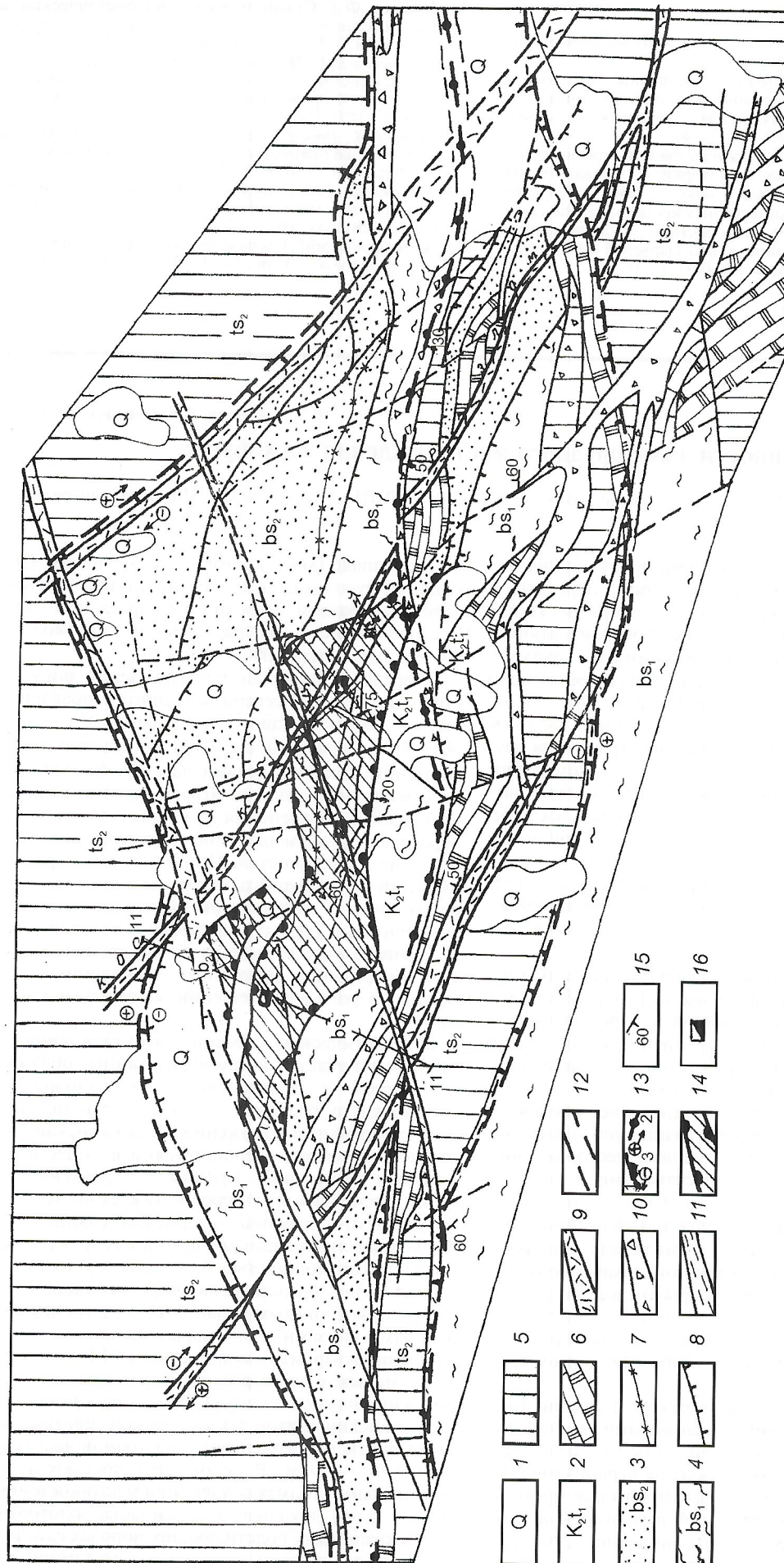


Рис. 1. Структурно-геологическая схема месторождения Аджибурут [4]:

1 — четвертичные отложения мощностью более 5 м (с); 2 — отложения нижнего турона: конгломераты, гравелиты, песчаники, глины; беспанская толща: 3 — вторая свита (O<sub>1-2</sub>): метаморфизованные песчаники и алевролиты, 4 — первая свита (V-Є<sub>1</sub>?): сланцы с прослоями кремней и карбонатов; таскаганская свита (R<sub>2-3</sub>): 5 — метатерригенные породы, 6 — кремнисто-карбонатно-сланцевые отложения; 7 — дайки плагиогранит-порфиров и сиенит-диоритов; разрывные нарушения: 8 — каледонские (?) надвиговые зоны, 9 — мощные зоны разломов северо-западного простирания, 10 — зоны взбросо-сдвигов с корами выветривания линейного типа; 11 — зоны дробления и перетиранья пород; 12 — сдвиги субмеридиального простирания; 13 — разломы, ограничивающие грабен (1), осевой разлом внутри грабена (2), направления перемещения блоков разломов (3); вектор — направление горизонтального перемещения, (+) — позитивное, (-) — негативное; 14 — проекция золотоносной зоны на горизонтальную плоскость; 15 — элементы залегания; 16 — шахты



ные минерализованные интервалы с невысокими содержаниями золота.

Бесапанская свита в пределах месторождения представлена отложениями двух подсвит. Отложения первой подсвиты развиты в южной и центральной частях месторождения, вдоль гряды верхнетасказганских кремней. Колонковыми скважинами отложения бесапанских образований, выполняющих грабен-синклиналь, повсеместно вскрыты в нижней части разреза. Их контакты с образованиями тасказганской свиты — тектонические, осложнены межформационными срывами. Контакт с вышележащими отложениями второй подсвиты нечеткий, местами тектонический. Они представлены метаморфизованными алевролитами, листоватыми углеродисто-слюдистыми, серицит-кварцевыми сланцами мощностью 50—200 м. Отложения второй подсвиты бесапанской свиты — основная рудофокусирующая толща Южной рудоносной зоны и месторождения в целом. Породы подсвиты представлены разномасштабными кварцевыми металевролитами, метапесчаниками и углеродисто-серицитовыми сланцами. Породы имеют сланцеватую текстуру с падением на юг под углами до 45°, мощность 200—250 м.

Отложения меловой системы представлены образованиями нижнего подъяруса туронского яруса, залегающими на предмеловой коре выветривания. В основании их развит базальный горизонт гравийно-галечных отложений мощностью от 10 см до 20 м. Они представлены в основном разноокатаннатыми гальками преимущественно кварцевого состава, реже кварцитами и окварцованными песчаниками и алевролитами. Разномасштабные полимиктовые пески составляют до 60% гравийно-галечных отложений, слабо сцементированы. Четвертичные отложения представлены песками, супесями и суглинками мощностью 0,5—5 м. По условиям накопления это эоловые и пролювиально-делювиальные образования.

Изверженные породы на месторождении Аджибутут широко развиты в центральной части и представлены в основном дайками плагиогранит-порфиров преимущественно широтного простирания. Редко встречаются дайки субмеридионального направления, падение которых крутое, морфология простая, линейная или слабо волнистая, мощность 0,5—4 м, контакты с вмещающими породами тектонические. Возраст их датируется как позднекаменноугольно-позднепермский. Породы даек серицитизированы, окварцованы, содержат сульфиды и тонкие кварцевые прожилки. Пирит встречается мелкими гнездами в виде рассеянных кристаллов.

Рудовмещающая толща — отложения первой и второй подсвит — сложена метаморфизованными песчаниками, разномасштабными алевролитами, углеродисто-слюдистыми сланцами и редкими прослоями метавулканогенных пород. Сланцы представлены двумя разновидностями. К ним относятся углеродистые филлитовидные и филлитовые сланцы серицит-хлорит-полевошпат-кварцевые, серицит-полевошпат-кварцевые, серицит-кварц-полевошпатовые и кварц-серицитовые составы. Среди разновидностей выделены «узловатые», кремнистые, филлитовидные с реликтовой бластоалевритовой структурой ортосланцы.

Филлитовидные сланцы играют лидирующую роль. Они обладают микролепидобластовой, лепидобластовой и микрогранобластовой структурами. Текстура их сланцеватая, метасоматически измененных сланцев — линзовидная, пятнисто-гнездовая, пльчатая. Они состоят из агрегатов кварца, палевого шпата, серицита, хлорита, углеродистого вещества. Сланцы часто пересекаются кварцевыми, альбитовыми, альбит-кварцевыми, карбонатными, углеродистыми и сульфидными прожилками, а в верхних частях разреза в зоне окисления — ярозитовыми, фосфатными, алуниновыми прожилковыми образованиями. Из аксессуарных минералов встречаются турмалин, апатит,

циркон, эпидот, гранат, анатаз, рутил. Таким образом, типы изменений представлены окварцеванием, альбитизацией, ярозитизацией, огипсованием, фосфатизацией, алунизацией.

Углеродистые филлитовые сланцы образованы преимущественно за счет перекристаллизации аргиллитов, встречаются спорадически на глубинах 200—250 м. С глубины 250—300 м они переслаиваются с филлитовидными сланцами. В тектонически ослабленных зонах встречаются их перемятые и передробленные разновидности — филлитониты. Структура их микролепидобластовая, лепидогранобластовая, текстура сланцеватая, тонкополосчатая, реже линзовидная, брекчиевидная. Состоят на 90% из серицитовых чешуек, на 8—10% из углеродистого вещества, реже отмечены прожилки карбонатов (сидерита, анкерита, кальцита). Сульфиды встречаются в виде пленок, мелкой вкрапленности и гнезд.

Метапесчаники развиты повсеместно и представлены средне-мелкозернистыми алевроитовыми разностями, встречаются также их кварцевые, полимиктовые, микрокварцито-кремнисто-кварцевые разновидности. Структуры пород бластоосаммитовая, бластоалевропсаммитовая, текстура сланцеватая. Состоит из обломочного материала (30—50%) и цемента (50—70%), в составе которых присутствуют кварц (80—90%), обломки кремнисто-микрокварцитовых пород (5—10%) и полевого шпата (до 5%), а также слюды (до 3%). Из аксессуарных минералов встречаются турмалин, циркон, апатит, лейкоксен, пирит. Новообразования представлены кварцем, альбитом, хлоритом, карбонатами и апатитом.

Металевролиты отличаются хорошей сортировкой обломочного материала, состоящего из фракций от мелкой до крупнозернистой размерности, нередко с песчаной примесью. Обломочные зерна представлены кварцем (65—95%), полевым шпатом (5—25%) и обломками микрокварцитов (до 5%), а аксессуарные — турмалином, сфеном, цирконом, апатитом и рутилом. Новообразования состоят из кварца альбита, хлорита, редко карбонатов и сульфидов.

Минерализованная зона с золотым оруденением приурочена к фрагменту сложной грабен-синклинали клинообразного типа, осложненной дислокациями различного порядка. В пределах этих дислокаций наиболее широко проявлены гидротермальные изменения пород, которые выразились в метасоматическом и прожилковом окварцевании, обогащении зон углеродистым веществом и серицитом, а также вкрапленной сульфидной минерализацией. Сформированные в результате этих изменений метасоматиты составляют основу золотосодержащих руд месторождения. Благоприятны для отложения золоторудной минерализации локальные разрывные структуры и участки повышенной трещиноватости более высокого порядка, неблагоприятные — зоны интенсивного смятия и участки слабой тектонической дислоцированности пород. Граница минерализованных зон фиксируется данными опробования. Повсеместно распространено золото с содержанием 0,2 г/т и выше (рис. 2). В западной части месторождения минерализованная зона морфологически имеет вид пологозалегающей уплощенной линзы, а в центральной — с раздувами и более крутым наклоном к югу.

Восточный блок зоны отделен от западного Центральным разломом, который под косым углом пересекает площадь месторождения в восток—северо-восточном направлении. Следует отметить, что вдоль зоны разлома строение и характер залегания рудных залежей существенно меняются: резко уменьшается их мощность и направление (субширотное). Висячем крыле отмечается мощный раздвиг залежи, ширина которого достигает нескольких сотен метров. Вторая особенность восточного блока — то, что с удалением от Центрального разлома к востоку рудные за-



Гор. +493 м

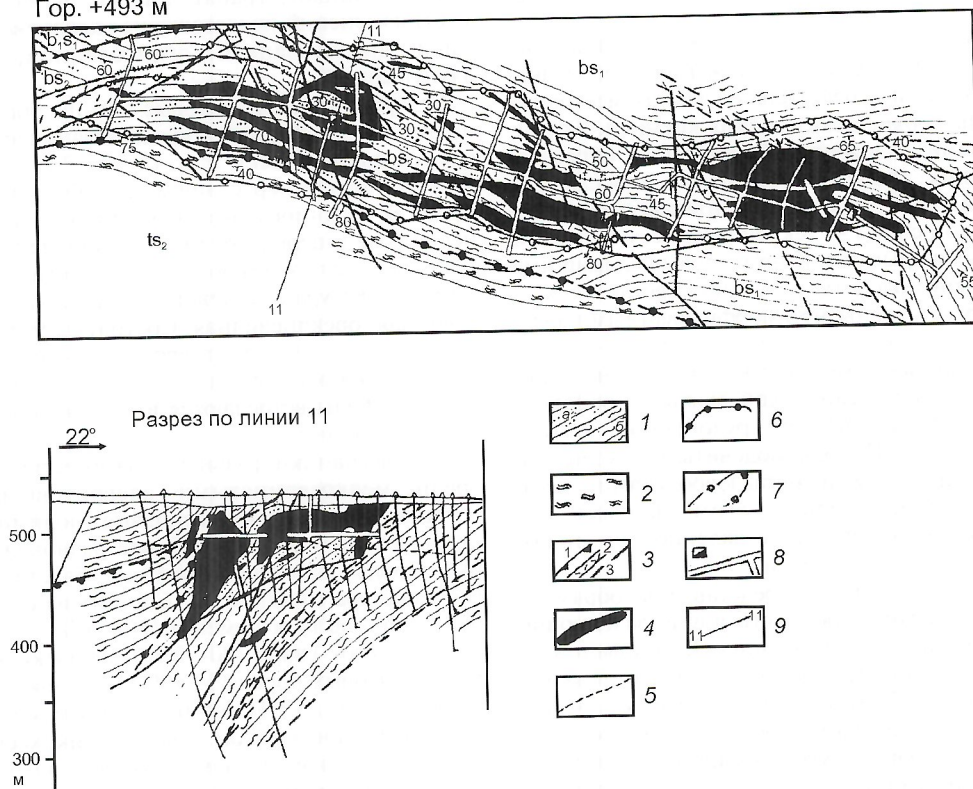


Рис. 2. План горизонта 493 м на месторождении Аджибурут:

1 — кремнисто-песчано-сланцевые отложения второй (а) и первой (б) свит бесапана; 2 — метатерригенные отложения тасказганской свиты; 3 — разрывные нарушения (1 — чешуйчато-надвиговые, 2 — зоны дробления и перетирания, 3 — субмеридиональные сдвиги); 4 — золоторудные тела ( $\geq 1$  г/т); 5 — граница зоны окисления (разрез); 6 — осевой разлом; 7 — контур, ограничивающий площадь подсчета запасов окисленных руд; 8 — подземные горные выработки; 9 — разведочная линия 11

лежи и минерализованные зоны постепенно погружаются на глубину, переходя в слепую зону.

Особенности структурных деформаций рудовмещающей толщи, которые привели к формированию мощной внутриформационной зоны раскливаживания и сланцеватости, в значительной мере определили морфологию рудных залежей месторождения и характер распределения в них золота. Образование линейно-плоскостных тектур в сплошных зонах тектонического течения пород по многочисленным кливажным поверхностям привели к формированию маломощных и непротяженных рудных линз с крайне неравномерным распределением золота как в них самих, так и во всем разрезе минерализованной зоны.

Наблюдения по колонковым скважинам и горным выработкам показали, что мощность субпараллельных рудных прослоев, приуроченных к плоскостям сланцеватости и трещинам кливажа в большинстве случаев составляет первые миллиметры, редко достигая 1—15 см. Однако насыщенность такими микропрослоями может быть в ряде случаев очень высока, создавая продуктивные мощности по стволам скважин 40—50 м и даже 100—120 м. Протяженность рудных микропрослоев (линз) также невелика как по падению, так и простиранию (1—20 см). Материал рудных линзочек — метасоматиты, разноориентированные кварцевые микропрожилки с вкрапленностью пирита.

Еще более неравномерно распределение золота в зонах разломов и их оперяющих трещинах, пересекающих рудонасыщенную внутриформационную зону. Здесь уровень содержания и характер распределения металла зависят от двух факторов. Первый — их положение относительно рудонасыщенной пологозалегающей зоны. Вне ее пределов разломы практически стерильны. Анализ данных всех ко-

лонковых скважин, равномерно расположенных на месторождении, показал, что ниже нижней границы внутриформационной зоны сколько-нибудь значимых содержаний золота в зонах разломов не обнаружено. Исключение составляют редкие маломощные (1—10 см) крутопадающие кварц-пирит-арсенопиритовые прожилки, в которых содержание золота не превышает первых грамм на тонну.

При пересечении разломами рудонасыщенной зоны, по-видимому, за счет перераспределения золота из субогласных залежей, происходит некоторое его увеличение в зонах нарушений. При этом, по данным минералогических исследований Р.Фищенко по штреку 110-2, содержания металла в больших обломках катаклазитов и будинаж-пород остаются тождественными ненарушенной толще, а в микрокатаклазитах и милонитах они распределены крайне неравномерно, колеблясь от десятых долей до нескольких десятков грамм на тонну.

Второй фактор — наличие и степень насыщенности зон разломов кварц-пирит-арсенопиритовыми жилами и прожилками, а также кварцевыми жилами и зонами окварцевания с полисульфидной золотосереброрудной минерализацией. В этом случае содержания золота и серебра могут достигать «ураганных» значений. Участков с богатыми рудами на месторождении немного. Тем не менее, при более детальном изучении месторождения возможно выделение внутри контура рядовых руд отдельных богатых рудных скоплений. На глубине 250—290 м в донной части грабен-синклинали золотое оруденение месторождения фиксируется по данным колонковых скважин. Здесь в зоне контакта отложений бесапанской и тасказганской свит, осложненной межформационными подвижками, формируются тектонические брекчии с остроугольными обломками кремней и



кварцево-сланцевых сланцев, сцементированных кремнисто-углеродистым материалом. Мощность зон колеблется от единиц до первых десятков метров. В их пределах локализируются рудные залежи протяженностью от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Мощность их изменяется в пределах нескольких метров. На сегодняшний день в пределах минерализованных зон месторождения Аджибугут выявлены и оконтурены 10 промышленных рудных тел разного масштаба. Рудные тела имеют сложную форму, чаще столбообразные с ответвлениями по простиранию и падению. Встречаются также пологозалегающие залежи и столбы с вертикальным падением.

Самые крупные рудные тела на месторождении — залежи 1 и 3. Рудные залежи 1а, 1б и 1в, скорее всего, апофизы залежи 1. На отдельных разрезах и горизонте горных работ они иногда сливаются в единую структуру.

Подводя итоги, можно отметить следующее.

1. Месторождение Аджибугут принадлежит золотосульфидной формации с гидротермально-метасоматическим отложением руд. Морфологически оруденение имеет сложную форму, чаще представлено пологой пластообразной залежью с многочисленными раздувами (участки столбообразной формы) и пережимами.

2. На глубине рудоносная структура срезана Южно-Аджибугутским разломом, который одновременно является южным ограничителем Центрально-Аджибугутской грабен-синклинали.

3. Оруденение убого сульфидное, прожилково-вкрапленное. Крайне неравномерный характер распределения золотого оруденения внутри залежи объясняется многократными деформациями слоистой толщи нижнего—среднего бесапана, в результате которых сформировалась внутриформационная зона с линейно-плоскостными элементами, вмещающая основную часть оруденения залежи.

Наличие многочисленных разломов и их оперяющих трещин усложнило строение залежи, создав блоково-мозаичную структуру месторождения. Часть разломов, в зонах которых широко проявились кварц-пирит-арсенопиритовая и кварц-полисульфидная минерализация, способствовали образованию в пределах залежи обогащенных участков с золотым и серебряным оруденениями.

5. Крайне неравномерный характер распределения оруденения в залежи не позволил провести надежную увязку его как между разрезами, так и по падению. Принцип выделения в ее пределах промышленных руд — оконтуривание по результатам опробования. Следовательно, число, пространственное положение, конфигурация, параметры и рудонасыщенность промышленных рудных тел в полной мере зависят от принятых бортовых содержаний золота. При этом следует учесть роль структурных элементов более высокого порядка, локализирующие рудные столбы и жилы (локальные разрывные нарушения, трещины скола и др.), влияние которых возрастает с увеличением детальности разведочных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Парамонов Ю.И., Хон М.Т.* Некоторые результаты и перспективы изучения перекрытых территорий Кызылкумской золотоносной области // Основные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы РУз. Ташкент, 1997. № 1.
2. *Парамонов Ю.И., Петров С.Ю.* и др. Мелкообъемные месторождения — новый промышленный тип золотого оруденения в Западном Узбекистане // Основные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы РУз. Ташкент, 1997. № 1.
3. *Парамонов Ю.И., Петров С.Ю., Василевский Б.Б., Дерюгин Е.К.* Опыт крупномасштабного прогнозирования золотого оруденения Ауминзатау: Тез. науч. конф. Ташкент, 1999.
4. *Парамонов Ю.И., Ахмедов Н.А.* Месторождение Аджибугут (Рудные месторождения Узбекистана). — Ташкент: ИМР, 2001.



### Уважаемые коллеги!

Ученый совет, коллектив Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН поздравляют редакционную коллегию журнала «Отечественная геология», всю геологическую общественность России со знаменательной датой — 70-летием со дня основания журнала. Появившись на свет в марте 1933 года, журнал сразу стал основным печатным органом государственной геологической службы и отечественной геологической науки вне зависимости от ее ведомственного статуса.

Журнал «Советская геология» — «Отечественная геология» во многом содействовал достижению высокого научно-методического уровня геологических работ, приведших к открытию многочисленных месторождений, к созданию мощной минерально-сырьевой базы в сжатые сроки, которых не знала ни одна страна мира. Очевидно, что по масштабам и качеству геологического изучения территории страны отечественная геология была в числе мировых лидеров. Мы с удовлетворением отмечаем, что в нашем коллективе работают сейчас бывшие главные редакторы журнала — член-корреспондент РАН Г.И. Горбунов и академик Н.П. Лаверов, внесшие свой вклад в поддержание высокого престижа журнала.

Сотрудники ИГЕМ РАН по достоинству оценивают возможность быть авторами издания. Они широко используют материалы журнала в своей работе и надеются делать это и в будущем.

Мы желаем журналу дальнейшего развития, преодоления трудностей, большого пути в интересах отечественной геологии!

По поручению Ученого совета ИГЕМ  
член-корреспондент РАН

Ю.Г. Сафонов

### Уважаемые коллеги!

Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана Российской Академии Наук поздравляет с 70-летием журнала «Отечественная геология» всех отечественных геологов, исследующих, пишущих, редактирующих и выпускающих достойные статьи. Основанный еще в 30-е годы журнал «Советская геология», а затем «Отечественная геология» необходим и теоретикам, и практикам — геологам широкого профиля, так же как и примкнувшим к ним минералагам. Желаем больших успехов, в том числе финансовых.

Директор Музея,  
доктор геолого-минералогических  
наук, профессор

М.И. Новгородова



## **Ученый совет и весь коллектив ВИМС поздравляет редакцию и редколлегию журнала «Отечественная геология» с 70-летием!**

Журнал был и остается флагманом периодических изданий геологического профиля. Его идеологической основой всегда являлась теснейшая связь теоретических основ геологии с решением актуальных практических задач. На его страницах отражался громадный фактический материал по геологическому изучению недр и публиковались блестящие фундаментальные разработки, обеспечившие лидирующие позиции советской и российской геологической мысли в мире. Эти разработки служили основой для прогнозов, реализация которых привела к открытию новых рудных провинций и районов, и во многом содействовали созданию мощного минерально-сырьевого потенциала страны. Большую роль журнал играет в подготовке и публикации материалов мировых геологических конгрессов и в активном продвижении наших достижений в мировое геологическое сообщество.

Многолетние журнальные издания в целом явились Большой Книгой Знаний, способствовавшей воспитанию не одного поколения геологов, многие из которых и сегодня успешно трудятся на благо нашего Отечества.

Поздравляем журнал «Отечественная геология» с юбилеем и желаем дальнейших успехов в служении нужным и благородным целям российской геологии.

Ученый совет и коллектив  
Всероссийского научно-исследовательского  
института минерального сырья им. Н.М. Федоровского

### **Дорогие коллеги!**

Ваш журнал в течение 70 лет успешно выполняет большую и очень важную работу по распространению передовых разработок отечественных геологов, которые повышают наш профессиональный уровень, способствуют внедрению новейших идей, методик, технологий в современные геологические исследования.

Деятельность журнала всегда отличалась высоким качеством публикации, что определяется профессиональным уровнем редакционной коллегии, в состав которой входят высококвалифицированные специалисты, пользующиеся заслуженным авторитетом в отрасли.

В настоящее время журнал «Отечественная геология» продолжает традиции, заложенные пионерами отечественной геологии первой половины прошлого века, публикуя работы, открывающие новые направления познания геологической реальности, способствующие формированию современной информационной базы геологической науки и практики.

Желаем коллективу журнала достижения поставленных целей, творческого долголетия, всем сотрудникам крепкого здоровья и финансового благополучия.

По поручению коллектива и  
Ученого совета  
НИИ космозеологических методов  
Директор

А.В. Перцов



## **Дорогие коллеги!**

Коллектив ВНИГНИ от всей души поздравляет редколлегию и редакцию журнала «Отечественная геология» со знаменательным юбилеем — 70-летием со дня основания.

Прошедшие годы для коллектива журнала были годами плодотворного творческого труда. Мы высоко ценим вклад «Отечественной геологии» в освещение вопросов геологии и стратиграфии, тектоники и литологии бывшего СССР и особенно России. Ваш журнал широко известен не только геологической общественности нашей страны, но и за ее пределами.

Мы уверены, что славный коллектив журнала «Отечественная геология» будет и в будущем играть роль флагмана российской геологии. Желаем вам больших творческих успехов, доброго здоровья, благополучия и надеемся на совместную плодотворную работу.

Дирекция и  
Ученый совет ВНИГНИ

## **Глубокоуважаемые коллеги!**

Ученые и специалисты Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана шлют главному отраслевому журналу России свои самые теплые и искренние поздравления по случаю его замечательного 70-летия!

Уже более полувека нас связывают с «Советской», а затем с «Отечественной геологией» тесные и весьма продуктивные творческие взаимоотношения. Все это время журнал держал нас в курсе новейших достижений геологической науки и геологоразведочной практики, а мы в свою очередь считали за честь поместить на его страницах свои наиболее важные статьи по ключевым проблемам геологии и минерализации Арктики, Антарктики и Мирового океана. Эти, пусть не очень многочисленные, публикации стали заметными вехами в истории НИИГА—ВНИИОкеангеология, определяя стратегию его деятельности и во многом способствуя становлению авторитета НИИГА—ВНИИОкеангеология внутри геологического сообщества.

Ваш (а точнее говоря наш) журнал всегда отличали такие драгоценные качества, как фундаментальность без наукообразия, современность без сиюминутности и деловитость без суетливости.

Пусть «Отечественная геология» всегда остается таким солидным, интересным и авторитетным изданием, каким мы привыкли его видеть!

Ваши постоянные читатели и почитатели

В.Д.Каминский, Г.Э.Грикуров,  
Д.А.Додин, Д.Л.Иванов,  
А.Ю.Опекунов, Ю.Е.Погребницкий,  
О.И.Супруненко, Г.А.Черкашев



## **Уважаемые коллеги!**

От имени коллектива ВИЭМС и от себя лично поздравляю вас с 70-летием журнала «Отечественная геология».

Трудно переоценить роль журнала в общей системе геологической службы России. Он всегда шел в ногу со временем, всесторонне отражал достижения отечественной геологической науки и практики, указывал пути движения по восходящей траектории.

Пройдя через сложные повороты истории, журнал, заложенный его основателями, был и остался лидером периодических геологических изданий, признан в стране и на международном уровне.

На страницах «Отечественной геологии» нашли отражение проблемы по профилирующим направлениям деятельности ВИЭМС с первых дней создания института. Это в значительной степени способствовало развитию геолого-экономических исследований и их прикладных направлений.

В день юбилейной даты желаем вам, дорогие коллеги, здоровья, дальнейшей успешной работы на благо российской геологии, сохранения и приумножения ее вековых традиций.

Генеральный директор ВИЭМС

М.А.Комаров

## **Уважаемые коллеги!**

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов имеет честь поздравить вас с 70-летием журнала «Отечественная геология».

70 лет для научного журнала — небольшой срок, однако «Отечественная геология» за эти десятилетия сделала очень много, став выразителем геологической мысли, слова и дела в нашей стране.

«Отечественная геология» — это главный рупор геологической отрасли, определяющий направления развития и совершенствования МСБ бывшего СССР и России.

«Отечественная геология» — это трибуна распространения передовых идей и методов в области геологии, геофизики, геохимии, экогеологии, передовых технологий региональных, прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на все виды полезных ископаемых, развитых на территории суши и континентального шельфа России.

«Отечественная геология» — это всероссийский круглый стол для открытого обсуждения актуальных проблем геологической науки и практики, который в наше непростое время позволяет поддерживать геологическую мысль на мировом уровне, заострять внимание на наиболее животрепещущих проблемах, находить плодотворные решения задач геологической практики.

Желаем всему коллективу редколлегии журнала «Отечественная геология» творческого долголетия, неиссякаемых интереснейших и острейших материалов, новых успехов сегодня, завтра и в будущем.

Директор ИМГРЭ

А.А.Кременецкий



## Глубокоуважаемые коллеги!

Ученый Совет и коллектив Всероссийского научно-исследовательского геологоразведочного института угольных: месторождений сердечно поздравляет журнал «Отечественная геология» со славным юбилеем.

Авторитетнейшему геологическому журналу России исполнилось 70 лет! Путь, пройденный со времени его основания академиком И.М.Губкиным, — путь поиска, новаторства и познаний. Мы благодарны редколлегии журнала за высокий профессионализм, предоставляемую возможность обмениваться опытом, идеями.

Несмотря на то, что с 1992 г. журнал выходит под названием «Отечественная геология», он объединяет авторов и читателей на всей необъятной территории СНГ, его читают более чем в 40 странах мира. Журнал укрепляет лучшие традиции отечественной геологии, направляет усилия геологической общественности на укрепление и развитие связей науки и производства, насыщен новейшей геологической информацией.

Впереди много работы трудной, интересной и разной, а потому «лет до ста расти вам без старости!». Успехов на этом пути.

Директор ВНИГРИуголь

М.И.Логвинов

## Глубокоуважаемые коллеги!

Ученые ЦНИИгеолнеруд сердечно поздравляют ваш славный коллектив и всех читателей журнала с солидным юбилеем и желают дальнейшего процветания, успехов в работе на благо отечественной геологии. Публикации на страницах вашего журнала оказывают большую помощь в исследованиях института, проблемы, поднимаемые в них, несомненно, играют большую роль в развитии новых идей и направлении в теории и практике геологических наук и производства, включая и широкий комплекс неметаллических полезных ископаемых. В этом отношении влияние журнала на «ум и молоток» геолога трудно переоценить.

Мы благодарны, что наши статьи неоднократно размещались в «Советской» и «Отечественной геологии» и способствовали продвижению результатов исследований института, подъему его авторитета.

Ваш журнал — лидер среди геологических не только отечественных, но и зарубежных изданий, и мы и в дальнейшем будем считать большой честью публикацию в нем наших трудов.

Несмотря на юбилейный год, как всегда ждем с нетерпением очередных номеров журнала, получение которых для нас необходимость и праздник.

От имени ваших искренних друзей-ученых ЦНИИгеолнеруд и от себя лично желаю вам — главному редактору и журналу «Отечественная геология» всего самого доброго и успехов на многотрудном пути геологической науки.

Директор института

Н.Н.Ведерников

Заместитель директора

Е.М.Аксенов



## **Уважаемые коллеги!**

Примите наши сердечные поздравления в связи со знаменательной датой — 70-летием со дня основания старейшего отечественного геологического журнала!

На протяжении всех лет своего существования журнал неизменно сохраняет и развивает традиции многопрофильного научного издания, пропагандирует передовые идеи в области геологии, поисков и разведки полезных ископаемых.

В новых экономических условиях журнал уделяет большое внимание актуальным вопросам экономики минерального сырья в стране и за рубежом, продолжает активно освещать достижения отечественной и мировой геологической науки.

На страницах журнала находят широкое отражение достижения сибирских ученых и производственников по научному обоснованию и открытию уникальных месторождений нефти и газа, золота, алмазов, никеля, угля и других полезных ископаемых.

Желаем коллективу журнала, его редколлегии и главному редактору профессору А.И.Кривцову доброго здоровья и дальнейшей успешной деятельности на благо Отечества!

Учений совет Сибирского НИИ геологии,  
геофизики и минерального сырья

## **Дорогие коллеги!**

Исполнилось 70 лет издаваемому вами журналу «Отечественная геология», в котором творческими усилиями авторского коллектива и редакции освещаются наиболее заметные достижения геологической науки и практики. Журнал — источник важнейшей информации не только для научных работников и специалистов геологоразведочного производства, но и для профессорско-преподавательского состава высших и средних учебных заведений горно-геологического профиля, занятого подготовкой кадров.

70 лет — свидетельство зрелости, но возраст не старит журнал. Природа и общество ставят геологическую науку перед необходимостью решения все новых и новых проблем. И это — залог вечной молодости журнала и его постоянной востребованности.

Примите самые искренние поздравления с Юбилеем, а также пожелания дальнейших творческих успехов!

Редколлегия и редакция журнала  
«Минеральные ресурсы России.  
Экономика и управление»



## Уважаемые коллеги!

Каждый день и каждый год активного существования журнала «Отечественная геология» сегодня можно считать юбилейным. Большое спасибо за обеспечение живучести журнала ЦНИГРИ и коллективу редколлегии. Списки статей, опубликованных в журнале «Советская геология» — «Отечественная геология» за весь период его выхода в свет, — это активная летопись развития геологических наук страны и мира. По ним можно проследить, например, сложную, во многом противоречивую историю тектоники, даже в высшей своей эволюционной фазе — плитной тектонике, оставшуюся неоплодотворенной идеями металлогении.

Металлогения — вот область, в которой вклад отечественной науки в мировую оказался самым весомым и определяющим. Достаточно просмотреть материалы любого геологического конгресса, чтобы увидеть как далеко ушла вперед отечественная металлогения, главные идеи которой были опубликованы в номерах «Советской геологии» — «Отечественной геологии» С.С.Смирновым, В.И.Смирновым, К.И.Сатпаевым, Ю.А.Билибиным, Е.А.Радкевич и их учениками второго и третьего поколения (увы, перечислить их имена здесь я лишен возможности).

Желая журналу в день юбилея процветания и новых успехов, хочу сделать одно совершенно предметное предложение — осуществить публикацию заказных работ на тему «Геологические и металлогенические школы России. Ретроспектива и перспектива». Ныне живущие должны оставить потомкам концентрат идей и разработок, на основе которого вырастут новые чудесные цветы геологической мысли страны.

Член редколлегии журнала  
«Советская геология»

В.А.Нарсеев

## Журналу «Отечественная геология» — 70 лет

70 лет журнал служит становлению и развитию геологической службы России, отражая историю и идеологию геологоразведочной службы и ее многогранной научной базы.

На страницах журнала находят место и достижения в развитии ресурсной базы полезных ископаемых, и разнообразие проблемы геологической науки, и дискуссионные вопросы — обязательный элемент наук о Земле — старой и все еще слабо изученной нашей планеты.

Меняются поколения геологов, меняется идеология нашей науки, открываются уникальные скопления полезных ископаемых, в числе которых такие драгоценности мирового класса, как полиметаллический Норильск или нефтяной Самотлор, или газовый Уренгой, являющиеся базой экономики России.

В этих изменениях меняется состав редколлегии журнала — уходят ветераны, их сменяют молодые ученые. Но редколлегия журнала всегда сохраняет два важнейших для прогресса науки качества — высокую научно-профессиональную компетентность и столь же высокую объективность — уважительное отношение к мнениям авторов.

Журнал отмечает свой юбилей в сложное время для экономики России, для ее геологической отрасли и ее науки.

В этот период особенно важна работа нашего журнала!

Желаем ему многих лет жизни и служению российской геологии, а его редколлегии — дружной плодотворной работы!

Профессор

В.В.Семенович



## Некоторые проблемы формирования и динамики глубинных вод

В.В.СЕМЕНОВИЧ (МГУ им. М.В.Ломоносова)

Современные представления об онтогенезе нефти и газа — от накопления исходного органического вещества до формирования их залежей и их разработки — основаны на двух парадигмах: «Нефть и газ — капли в океане воды» (И.О.Брод) и «Нефть и газ — детища литогенеза» (Н.Б.Вассоевич). Эти парадигмы — стержень осадочно-миграционной теории образования нефти и газа и формирования их скоплений.

Обширные исследования доказывают абсолютную связь формирования нефти и газа с литогенезом и глубинными водами осадочных пород — важнейшим фактором литогенеза. Органическое вещество накапливается в водной среде в массе минеральных осадков, преобразуется в литогенезе и генерирует углеводородные и неуглеводородные компоненты микро нефти. В воде они мигрируют и образуют скопления нефти и газа. Поэтому формирование гидросферы (Мирового океана и других поверхностных вод) и глубинных вод (гидрогеосферы) — важнейший раздел общей теории нефтегазоносности.

Проблема формирования гидросферы и, прежде всего воды, как главного компонента гидросферы в широком плане, — предмет многочисленных дискуссий. Э.Фридман справедливо отмечает (цитируем по В.Ф.Дерпгольцу): «Вода представляет собой классический пример застоя и косности, которые ярко выступают и становятся очевидными всякому, кто глубже вникает в вопрос о природе воды». Дискуссионен широкий круг проблем — от формирования молекулы  $H_2O$  до условий нахождения воды в разных сферах — от атмосферы до внутренних зон планеты.

Происхождение воды — одна из основных проблем гидрогеологии. Известно, что водород (наряду с гелием) — главная часть космической материи. Его содержание в 10 000 раз превосходит остальные породообразующие элементы и в 1000 раз — содержания углерода и кислорода. В межзвездном пространстве содержание водорода  $2,7 \cdot 10^{24}$  г/см<sup>3</sup> [3]. Содержание кислорода на два порядка ниже. Представления о присутствии воды в космосе бездоказательны. Космический вакуум и абсолютный нуль температуры исключают процессы окисления водорода, т.е. наличие воды в космосе.

Некоторые исследователи утверждают, что мантия Земли содержит большое количество «космической» воды в виде газогидратов (по А.А.Маракушеву) или в реголитах (по О.Г.Сорохтину), внесенных при формировании «первичного» объема и вещества планеты. Эти предположения требуют обоснования, прежде всего из-за сомнительности наличия воды в космосе в условиях абсолютного нуля и абсолютного вакуума.

А.П.Виноградов считал, что следов воды,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $H_2S$  в минералах, образованных в процессе формирования Земли, в земной коре нет: «В условиях существовавших температур и высокого вакуума в состав метеоритного вещества входили те вещества, которые образовали с силикатным веществом метеоритов химические твердые соединения» [1, с. 42]. В ряде работ А.П.Виноградов, утверждал, что вся вода гидросферы — из мантии; в других работах этого выдающегося ученого отмечена ничтожная доля эндогенных вод в гидрогеосфере («ничтожный пай») [2].

В период аккреции сформировавшееся планету космическое вещество не могло содержать воды. Даже если бы вода первично в нем существовала, за миллионы лет пре-

бывания в космическом вакууме оно должно было потерять ее в результате сублимации и рассеяния. Именно поэтому минералы глубинных частей литосферы не имеют в составе ни водорода, ни его оксидов. Практически нет и углерода.

В основной массе породообразующих минералов подкорового генезиса кислород присутствует в огромном количестве. Легко предположить, что именно в процессе аккреции формировался современный состав мантии. Мантия практически полностью представлена оксидами металлов и в некоторой части их сульфидами. Водорода в них нет.

Во многих работах [8 и др.] априорно подразумевается поступление воды в массу планеты на лунной стадии эволюции Земли, когда она была лишена водной и газовой оболочек, а эти оболочки появились вследствие дегазации мантии. Представления о массе воды, принесенной метеоритами в процессе формирования Земли, также совершенно проблематичны.

Первичная «безводность» массы метеоритов вытекает из бесспорного процесса сублимации льда, а жидкая вода не могла существовать в условиях абсолютного нуля и вакуума. Метеориты высыхали и во время пролета сквозь атмосферу Земли. На Земле до обнаружения они тысячи лет находились на поверхности или в осадочных породах, где могли насыщаться водой [10].

Значительно более реально представление о том, что вода — самое легкое соединение — появилась только после формирования объема и массы Земли, достаточной для удержания атмосферы. В то же время планета разогревалась; возникли условия реакций окисления водорода. Вода никогда не погружалась и никогда не могла погружаться в недра (мантию) в сверхкритические термобарические условия. Утверждения о нахождении «первичной» воды (самого легкого вещества!) в мантии противоречат закону всемирного тяготения (притяжения масс).

В.И.Вернадский писал: «Нельзя говорить о воде на нижней границе земной коры, на глубине около 60 км от уровня геоида, где господствует давление более 30 000 атмосфер (видимо, здесь в книге опечатка — не 30 000, а 15 000 атмосфер или 1500 МПа — В.С.). При таком давлении стирается различие между твердым, жидким и газообразным состоянием скоплений молекул — сами молекулы меняются. Получаются пластические упруго твердые как сталь тела, о которых мы не имеем реального представления». Представления об огромном количестве воды в низах литосферы и, тем более, в мантии гипотетичны. Они не обоснованы доказательными расчетами.

Исследования А.В.Сидоренко с сотрудниками [7 и др.] и других авторов показали, что обнаженные на поверхности древние изверженные породы, первично не содержавшие воды, захватывают воду в диафорезе, т.е. во время пребывания вблизи земной поверхности. Изучение органического вещества пород архея и протерозоя позволило им формулировать представления об углеводородном дыхании древних толщ. Наличие углерода в породах архея—протерозоя верхней части коры подтверждено исследованием керна из фундамента Татарского свода.

Многочисленными разноплановыми исследованиями Мирового океана обоснована концепция динамики литосферных плит. Показана ведущая роль глубинных разло-



мов в формировании «лика» Земли. Установлена связь формирования эндогенных вод за счет поглощения океанских вод по глубинным разломам на десятки километров в область сверхкритических условий [5 и др.]. Здесь происходит редукция воды, превращения ее в эндогенную, захват минерального вещества и вынос его на поверхность. Вода практически «прокачивается» в океанской коре через зону сверхкритических условий и проходит стадию гидротермального флюида. Прогрессирующий дефицит объема системы вода—порода (за счет ее сжатия) непрерывно стимулирует приток воды из внешних источников; возникает «метаморфогенная инфильтрация» — М-инфильтрация газоводных растворов. Главным источником воды при этом служит осадочный чехол. В элизионных системах М-инфильтрация может распространяться до глубин 8—10 км и более. Элизия — уплотнение породы и удаление из нее воды — обязательный процесс формирования осадочно-породного бассейна. Основная часть воды первично (в седиментогенезе) связана с глинами. Глины отдают массу воды в коллекторы при уплотнении осадка. Редуцированные эндогенные воды на поверхности создают в приразломных зонах многочисленные локализованные скопления сульфидных и других руд, а также вносят в Мировой океан в микроконцентрациях многочисленные элементы, несвойственные морской воде.

Общепризнанно представление о доминирующей роли глин в нафтидообразовании. Изучение стадийности обезвоживания глин и их превращения в аргиллиты показало, что при погружении на глубину около 4 км и более, т.е. в зону литостатического давления около 100 МПа и температуры порядка 120°C, содержание воды сокращается от десятков процентов в седиментогенезе до долей процента в метагенезе. В апокатагенезе и метагенезе глины превращаются в аргиллиты [9 и др.].

Генерация нафтидов за пределами зоны катагенеза представляется маловероятной или имеющей ничтожный масштаб из-за дефицита воды. Видимо, сокращение (или исчерпание) ресурса связанной воды обуславливает спад генерации нефти в апокатагенезе.

По представлениям большинства литологов и геологов-нефтяников, образование нефти происходит в водной среде стадийно при превращении осадка в породу и изменении состава воды. На протяжении литогенеза идет непрерывный нафтидогенез — от метана (с небольшой примесью тяжелых углеводородов), сероводорода и CO<sub>2</sub> в донных осадках и диагенезе до обширной гаммы углеводородных и неуглеводородных соединений, составляющих микронейфть, в катагенезе.

В литогенезе идут параллельно и взаимосвязано два процесса: нафтидогенез и элизия. Микронейфть водой выносится из материнской породы в коллектор. По мере потери воды, образования и удаления углеводородов генерационный потенциал осадочных пород снижается. Породы «высыхают». Эмиграция микронейфти затухает в процессе обезвоживания породы. Есть ли в литосфере источники дополнительной воды, кроме седиментогенной и элизионной? По-видимому, нет.

Из сказанного можно сделать вывод, что весьма гипотетичны и сомнительны представления о непрерывном едином потоке глубинных металлоносных флюидов из низов литосферы и верхней мантии, переходящем в осадочно-породном чехле в поток углеводородных флюидов. Вероятно, это совершенно несвязанные процессы.

На современном уровне теории нефтегазоносности наиболее разработаны процессы разложения органогенного вещества, образование из него углеводородных молекул и далее наличие гомогенных масс нефти и газа в виде за-

лежей и месторождений. Однако процессы первичной миграции микронейфти → ее эмиграции из нефтематеринской породы в коллектор → концентрации рассеянной микронейфти в струи → формирование залежи на современном уровне теории нефтегазоносности разработаны весьма гипотетично.

Упрощенно, по существующим представлениям, первичная миграция нафтидов происходит в глинистых породах с проницаемостью примерно 10<sup>-6</sup> мкм<sup>2</sup>, т.е. миллионных долей дарси, в виде субмолекулярно рассеянной в воде микронейфти. При этом горизонтальный градиент напора в НГБ обычно ниже 10<sup>-4</sup>. Параметры проницаемости и фильтрации много ниже предела применимости уравнения Дарси:

$$V = k_{\Phi} \cdot i = 10^{-6} n \cdot 10^{-4} = n \cdot 10^{-10} \text{ м/с.}$$

Вода практически неподвижна. В пределах применимости этого уравнения она переносить ничего не может. Большинство фильтрационных течений в коллекторах, встречаемое в практике разработки залежей, т.е. даже при искусственно создаваемом высоком градиенте напора, имеет скорость 10<sup>-4</sup>—10<sup>-5</sup> м/с.

Многие исследователи, рассматривая проблему перемещения нефти и газа, придают большое значение многочисленным дизъюнктивам разного масштаба. Эта точка зрения подтверждается многочисленными минеральными жилами, в т.ч. и заполненными нафтидами — озокеритом и др. Однако весьма спорны «тривиальные» представления о массовом и повсеместном вертикальном перемещении флюидов (воды, нефти, газа) в осадочно-породном разрезе вверх. Во всех нефтегазоносных бассейнах имеют место резкие изменения и вертикальная разнонаправленная зональность фазового состава нефти и газа, а также состава и минерализации глубинных вод. Примерами служат гигантские залежи нефти в нижнемеловых отложениях Среднего Приобья и столь же гигантские залежи газа на севере Западной Сибири. Минерализация глубинных вод палеозоя Урало-Поволжья растет сверху вниз, а плиоцена Южного Каспия снижается сверху вниз.

Тем не менее, совершенно очевидно, что микронейфть движется из «очагов» генерации и образует в ловушках гигантские скопления (независимо от представлений об ее генезисе). Поэтому задачи первичной и вторичной миграции в материнской породе и коллекторе требуют корректного литохимического и гидродинамического рассмотрения, основанного на столь же корректном фактическом материале.

Теоретически эти задачи рассмотрены в работах А.Г.Арье [1 и др.] и других исследователей. Область применения концепции молекулярно-дискретного массопереноса — файлоуэции, предложенной А.Г.Арье, охватывает огромную часть объема гидрогеологических бассейнов, сложенную низкопроницаемыми породами, где градиент фильтрации ниже начального градиента.

По существующим представлениям, вещество мантии обладает текучестью. Поэтому процессы перемещения флюидов в осадочно-породном чехле и верхней мантии нередко рассматриваются взаимосвязано. Представления о вертикальных (в т.ч. направленных вверх или вниз) и горизонтальных перемещениях магматогенных и водно-углеводородных флюидов в настоящее время разделяются многими исследователями. Однако вещество мантии — не вода и не нефть. Весьма слабо обосновано объединение в единый процесс перемещения мантийного вещества с пе-



ремещением воды, нефти и газа в верхней части земной коры — ее осадочно-породной оболочке.

Геодинамика реальных флюидов, а главное — конкретизация понятия «флюид» в условиях литосферы и мантии — нуждается в глубокой теоретической разработке на основе фундаментальных наук, прежде всего, подземной гидродинамики. Необходимо определение содержания понятия и объема понятия «флюид», состава и свойств «флюидов» в конкретных геосферах в разных термобарических условиях и при разных реологических параметрах мигрирующих флюидов. Особенно важно для теории нефтегазоносности решение этих задач применительно к термобарическим условиям осадочно-породных бассейнов.

Происхождение гидросферы (в широком смысле термина) и процессов движения флюидов — нефти, газа, воды — требует обстоятельного теоретического исследования и обоснования фактическим материалом. Без этого невозможно создание стройной теории нефтегазообразования и формирования месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арье А.Г.* Математическое обоснование обобщенного закона фильтрации // Нефтяное хозяйство. 2002. № 2.
2. *Виноградов А.П.* Введение в геохимию океана. — М.: Наука, 1967.
3. *Виноградов А.П.* Проблемы геохимии и космохимии: Избранные труды. — М.: Наука, 1988.
4. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Очерки о Вселенной. — М.: Наука, 1968.
5. *Дерпгольц В.Ф.* Вода во Вселенной. — М.: Недра, 1971.
6. *Лисицын А.П., Богданов Н.А., Гурвич Е.Г.* Гидротермальные образования рифтовых зон океана. — М.: Наука, 1990.
7. *Маракушев А.А.* Петрография. — М.: Изд-во МГУ, 1993.
8. *Сидоренко А.В.* и др. Докембрий и проблемы формирования земной коры. — М.: Наука, 1978.
9. *Сорохтин О.Г.* Глобальная эволюция Земли. — М.: Изд-во МГУ, 1991.
10. *Тимофеев П.П., Холодов В.Н., Зверев В.П.* Осадочная оболочка Земли как возможный источник гидросферы // Докл. АН СССР. 1986. Т. 288. № 1. С. 197—200.
11. *Яковлев Л.Е.* Метаморфогенная инфильтрация воды в базальтовый слой и кратонизация океанической коры // Тектоника, геодинамика, процессы магматизма и метаморфизма». Т. 2. М., 1999.



# «Советская геология» — «Отечественная геология» — многолетнее (1938—2000 гг.) содружество

Л.И.КРАСНЫЙ

Долгие годы журнал «Советская геология» был для меня основой получения знаний о теоретической и региональной геологии. Запомнились статьи, послужившие стимулом развития моих взглядов на проблемы тектоники. Речь идет о статьях: 1) Виктора Арсениевича Николаева (1944, № 1); 2) Владимира Владимировича Белоусова (1960, № 73), 3) Виктора Ефимовича Хаина и Юрия Михайловича Шейнманна (1960, № 11). Необходимо обратить внимание на то, что первая статья была опубликована в годы Великой Отечественной войны. Перелистывая пожелтевшие страницы, становится очевидным, что журнал публиковал все наиболее современное и значимое. Я только приведу названия этих статей: 1) «О закономерностях развития структурно-фациальных зон в подвижных поясах земной коры»; 2) «Развитие земного шара и тектогенез»; 3) «Сто лет учения о геосинклиналях». Опираясь на эти исследования, мною была разработана своя система номенклатуры подвижных областей [4].

С 1938 по 2000 г. в журналах «Советская геология» и «Отечественная геология» опубликованы 17 ста-

тей, в написании которых я принимал непосредственное участие, из них 7 в соавторстве с широко известными стране геологами. В ранних публикациях [1, 2] освещались новые данные, полученные мною в процессе геолого-съемочных работ в Южном Приморье (рис. 1) и Нижнем Приамурье.

Открытие в 1936 г. олово-вольфрамового рудопоявления в районе оз. Удилье являлось одним из стимулов привлечения внимания к Нижнему Приамурью и в дальнейшем созданию промышленного оловорудного района. Затем наступил значительный перерыв в исследованиях автора этого очерка. Началась Великая Отечественная война и в 1941—1945 гг. автор (рис. 2) служил в составе береговой обороны (командир батареи, начальник штаба артдивизиона) Краснознаменного Балтийского флота.

И только в 1946 г. возобновились мои работы на Дальнем Востоке. Статьи этого периода были посвящены результатам Межведомственных стратиграфических совещаний, проходивших под моим руководством в качестве председателя Оргкомитетов [3, 7], и геологическим предпосылкам локализации полезных ископаемых [5]. Сжатое изложение итогов Международных конгрессов и выставок геологических карт освещались в статьях совместно с Н.А.Беляевским, А.И.Жамойдой, В.А.Ярмолюком и др. [6, 7, 9].

О дальнейшем участии в журналах «Советская геология» и «Отечественная геология» в 70, 80 и 90-х годах XX в. я расскажу подробнее. Начну со статьи 1972 г., написанной по свежим впечатлениям пребывания в Боливии [8]. В ней были даны новая схема тектоники, историко-геологический обзор и основные черты металлогении. Показано, что именно магматическая активность в позднем неогене обусловила богатую рудоносность (олово, серебро, сурьма) региона. Этим подчеркнута роль тектономагматической активизации.

При благоприятном отношении редколлегии журнала, что было для меня большой честью, в последней четверти XX в. появилась возможность познакомить читателей с развитием представлений о геоблоковой делимости литосферы. К XXVII сессии МГК, проведенной в Москве в 1984 г., была опубликована статья [10], привлекавшая внимание Конгресса к геоблоковой делимости литосферы, разрабатываемая мной с 1967 г. Согласно ей, как в поверхностном (кором), так и глубинном (мантийном) этажах создается неодинаковая, в разных типах геоблоков магматогенная, метаморфогенная, седиментогенная и минерагеническая специализация. Она, возможно, с одной стороны наследует древнейшие структурные области, связанные с аккрецией протопланетного материала и бомбардировкой небесными телами (4—3,8 млрд. лет), а с



Рис. 1. Начальник Белевской геолого-съемочной партии, Южное Приморье. Л.И.Красный, 1937 г.





Рис. 2. Командир 322 батареи 31-го артдивизиона Краснознаменного Балтийского флота. Л.И.Красный, 1942 г.

другой, вызывается новообразованными, тектоническими процессами. К ним могут быть отнесены расширение и последующее сжатие достаточно крупных сегментов Земли, значительные глобальные оседания и поднятия, а также региональные спрединговые процессы.

Развитие идей геоблоковой делимости в связи с неоднородностью литосферы имело место и в последующем [16]. Подводя итоги упомянутой сессии МГК, было подчеркнуто, что ни одна тектоническая концепция не удовлетворяет проблеме построения теории Земли [11]. Было показано, что «созревание» глубинных недр — процесс сложный и длительный. От гетерогенной аккреции внеземного вещества через ядерно-мантийные преобразования в течение 4,5 млрд. лет шло формирование латерально и вертикально изменчивых слоев Земли. Наряду с общими, глобальными историко-геологическими закономерностями, ведущие концепции современности, такие как тектоника плит, неравномерная расслоенность литосферы, сопровождающаяся разной скоростью перемещения литопластин, расширения и пульсацией Земли, вертикального подъема вещества из глубоких слоев мантий к поверхности, могут удовлетворительно объяснять только отдельные, достаточно крупные по времени и значению этапы тектонического развития Земли.

Неоднократно возвращаясь к проблемам тектонической систематики [13], я показал как развивались

главнейшие структурные подразделения в суперструктурах Земли. Акцентируя внимание на гетерогенном тектогенезе, были исследованы его связи с минерацией [15].

В большой статье, обобщившей представления о тектонике Советского Союза и связанной с ней минерацией [12], рассмотрено зарождение и развитие взглядов с середины XIX в. и приведено тектоническое районирование СССР, согласно концепции геоблоковой делимости. Были даны сжатые выводы о вероятности ее происхождения, подчеркнуто значение межгеоблоковых и ангулярных структур. К сложным многоярусным межгеоблоковым системам с группированием эндогенных рудных концентратов были отнесены системы Уральская и Зайсанская (с Рудным Алтаем). Сделан важный вывод о том, что восходящий линейный магматический диапир, продвигающийся в виде разветвляющихся конвекционных течений, создает вместе с цепью плюмов благоприятную обстановку для флюидного переноса из мантии петрогенных, рудных и рассеянных элементов, что также согласуется с возможной моделью поступления рудного вещества из дополнительных порций расплава, эволюционирующих в магматической камере по плюмажно-конвекционной схеме. Последнее увязывалось с взглядами А.И.Кривцова и В.И.Воробьева (1989).

Эти представления были развиты в статье «Восходящие глубинные и близповерхностные структуры и



связанная с ними минерагения» [17]. В ней подчеркнуто, что подъем, восхождение — доминантный процесс. Для него предложен общий термин фидерный (от англ. feeder — питатель, канал). Большая часть их принадлежит глубинным дипфидерным (deepfeeders) структурам. Для обсуждения была дана и их общая систематика.

По просьбе редколлегии я иногда рецензировал наиболее интересные книги [14].

Подводя итоги многолетнему (более 60 лет!) сотрудничеству с журналом, внесшим существенный вклад в становление разных ветвей наук о Земле, я стремился показать, как развивались новые взгляды, существенно связанные с тектоникой и региональной геологией. Это явилось следствием исследований, связанных с геолого-съёмочными работами, а также знакомством со строением многих районов России и мира.

Статьи Л.И.Красного, опубликованные в журналах «Советская геология» — «Отечественная геология»

1. Красный Л.И., Русаков М.П. Белембейский район Южного Приморья ДВК и его геологические перспективы в отношении металлов // Советская геология. 1938. № 8—9.
2. Красный Л.И. Новые данные по геологии и металлоносности Нижнего Приамурья // Советская геология. 1940. № 7.
3. Красный Л.И., Верещагин В.Н. Итоги стратиграфического совещания на Дальнем Востоке // Советская геология. 1957. № 2.
4. Красный Л.И. Подвижные области и вопросы их номенклатуры // Советская геология. 1961. № 10. С. 118—137.
5. Власов Г.М., Ицкисон М.И., Кормилицын В.С., Красный Л.И., Матвеев В.Т. Геологические предпосылки локализации полезных ископаемых на территории Востока СССР // Советская геология. 1963. № 12. С. 36—58.
6. Беляевский Н.А., Красный Л.И. Проблемы геологии и геофизики на XI сессии Тихоокеанского конгресса // Советская геология. 1967. № 4. С. 141—151.
7. Красный Л.И., Жамойда А.И., Салун Н.А., Ярмолюк В.А. Результаты и задачи стратиграфических исследований на Дальнем Востоке // Советская геология. 1967. № 6. С. 3—17.
8. Красный Л.И. Геолого-структурное районирование и полезные ископаемые Боливии // Советская геология. 1972. № 7.
9. Жамойда А.И., Красный Л.И. Выставка геологических карт на XXIV сессии МГТС // Советская геология. 1973. № 3. С. 147—154.
10. Красный Л.И. Глобальная делимость литосферы в свете геоблоковой концепции // Советская геология. 1984. № 7. С. 17—32.
11. Красный Л.И. Современные проблемы тектоники и региональной геологии // Советская геология. 1985. № 9. С. 13—21.
12. Красный Л.И. Тектоника СССР и некоторые вопросы минерагении // Советская геология. 1990. № 4. С. 58—72.
13. Красный Л.И. Проблемы тектонической систематики — новый взгляд // Советская геология. 1992. № 2. С. 13—27.
14. Красный Л.И. На передовых тектонических позициях // Советская геология. 1992. № 9.
15. Красный Л.И. Гетерогенный тектоногенез и его минерагеническое значение // Отечественная геология. 1993. № 6.
16. Красный Л.И., Блюман Б.А. Геоблоковая делимость и неоднородность литосферы // Отечественная геология. 1998. № 1. С. 17—26.
17. Красный Л.И. Восходящие глубинные и близповерхностные структуры и связанная с ними минерагения // Отечественная геология. 2000. № 6. С. 23—29.





7 апреля 2003 г. исполнилось 90 лет Николаю Алексеевичу Шило — академику Российской Академии Наук, Герою Социалистического Труда, Лауреату Государственной премии.

Н.А.Шило после окончания Ленинградского горного института в 1937 г. по рекомендации Ю.А.Билибина заключил договор и выехал на работу в Северное горнопромышленное управление «Дальстрой», и с этого времени вся его многолетняя практическая и научная деятельность была тесно связана с Северо-Востоком России — основным золотодобывающим «цехом» нашей страны. Начиная трудовой путь Николай Алексеевич проработал в Хатыннахской геологоразведочной партии, вскоре был назначен начальником отдела разведки россыпей, а затем возглавил геологическую службу крупного горнодобывающего района. В первые же годы работы под его руководством и при непосредственном участии были открыты и разведаны месторождения золота, олова, вольфрама, молибдена и других полезных ископаемых. Уже в начале производственной деятельности в 1940 г. Н.А.Шило публикует в бюллетене «Колыма» свои первые две статьи, которые были направлены на повышение достоверности разведки и подсчета запасов россыпей золота. В декабре 1944 г. он был полноправным участником первой Дальстроевской конференции геологов в г. Магадан.

Изучая закономерности распределения золота в рыхлых отложениях, Н.А.Шило одним из первых в своей публикации в 1949 г. обратил внимание на чрезвычайно слабую перемещаемость частиц золота речными потоками при формировании россыпей, что является основным фактором распределения металла в продуктивных пластах.

Успехи в решении задач по развитию минерально-сырьевой базы Северо-Восточного региона страны принесли Н.А.Шило заслуженное признание. В 1950 г. молодой талантливый геолог возглавил созданный на Колыме научно-исследовательский институт ВНИИ-1. За неполные 10 лет директорской деятельности Н.А.Шило ВНИИ-1 из научно-исследовательской лаборатории был преобразован в крупное научное учреждение, способное решать не только проблемы геологии и металлогении, но и широкий круг разносторонних вопросов горного дела, мерзлотоведения, обогащения минерального сырья в интересах развития производительных сил Магаданской области. В эти годы под руководством Николая Алексеевича проводились исследования, связанные с геологией редкометалльных и золоторудных месторождений, всесторонним изучением россыпной золотоносности и минерального состава руд, обобщением геологоразведочных данных, созданием методик и технических средств для совершенствования разведки и технологии разработки месторождений. В 1953 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию, в которой были обобщены материалы по россыпной золотоносности Северо-Востока СССР. Следует отметить некоторые работы Н.А.Шило, опубликованные в Трудах ВНИИ-1 и связанные с концептуальными вопросами геологии россыпей: о формах переноса золота в зонах вечной мерзлоты (1955), принципах классификации россыпных проявлений (1958), влиянии древних оледенений на россыпную золотоносность Яно-Колымского пояса (1959), геологическом строении и коренных источниках россыпей Яно-Колымского пояса (1960) и др.

В 1960 г. в г.Магадан Н.А.Шило с ближайшими соратниками организовал Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт (СВКНИИ) Дальневосточного Научного Центра АН СССР. В числе важнейших задач института со дня его основания — изучение природных ресурсов Северо-Востока СССР, а также решение разнообразных проблемных вопросов в области наук о Земле. Наряду с геологическими исследованиями (россыпная и рудная геология, геофизика, металлогения, региональная тектоника, геология нефти и газа и другие важнейшие направления) в комплексном институте Николай Алексеевич организовал экономическое направление, а также лабораторию истории и этнографии. Вместе с ростом творческого потенциала создаваемого коллектива и в самые напряженные годы организации и становления института он в 1962 г. защитил докторскую диссертацию, в 1964 г.



был избран членом-корреспондентом, а в 1970 г. — действительным членом АН СССР.

Н.А.Шило опубликовал более 700 научных работ, в т.ч. 17 монографий, большая часть которых посвящена проблемам геологии рудных и россыпных месторождений. Для решения практических задач нельзя не отметить работы Н.А.Шило по проблемам рудноформационного анализа, как научной основы в поисковых и геологоразведочных целях. Он был инициатором организации геологического изучения и определения перспектив золото- и сереброносности Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Академик Николай Алексеевич Шило 8 лет возглавлял Президиум ДВНЦ АН СССР. За огромный вклад в освоение природных ресурсов Северо-Востока и большую научно-организационную работу Николаю Алексеевичу присвоено звание Герой Социалистического Труда, он награжден тремя орденами Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденами Октябрьской Революции и Знак Почета, многими медалями.

Только в одном Северо-Восточном регионе многие десятки его учеников стали кандидатами и докторами наук. Его воспитанники плодотворно трудятся в научно-исследовательских и производствен-

ных организациях Северо-Востока, Сибири, Дальнего Востока и Урала, центральных районов России, в Москве и Санкт-Петербурге, странах ближнего зарубежья. На трудах Н.А.Шило воспитаны сотни специалистов, достойно развивающих и внедряющих в практику фундаментальные идеи, заложенные в его работах.

В настоящее время Николай Алексеевич — советник Президиума Российской академии наук. Он почетный директор СВКНИИ ВДВО РАН, почетный член многих академий, почетный гражданин г.Магадан и г.Виннипег в Канаде. Он активный участник почти всех форумов, посвященных геологии россыпей, геологии Востока России, Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана, различных всероссийских и международных совещаний, конференций и симпозиумов.

Коллеги, друзья и многочисленные ученики Николая Алексеевича Шило горячо и сердечно поздравляют его со славным юбилеем, желают крепкого здоровья и новых творческих успехов.

*Коллегия МПР РФ  
Президиум МАМР  
Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



## **Информация Российского геологического общества**

### **Решение жюри Всероссийского конкурса на лучшую работу по актуальным проблемам геологических наук и геологоразведочных работ от 26 декабря 2002 г.**

***Присудить звание лауреатов Всероссийского конкурса с вручением диплома  
и денежной премии по следующим работам.***

Региональные закономерности распространения брома и стронция в подземных рассолах терригенного комплекса Сибирской платформы — *И.И.Юрчик*, студентка ТПУ.

Выделение зон разуплотнения коллекторов методами ГИС на Оленьем месторождении — *Р.А.Паневин*, студент ТПУ.

Анализ эффективности нормативно-правовой базы использования и охраны водных ресурсов в сельской местности — *Т.А.Кривицкая*, студентка ТПУ.

Малое предпринимательство в недропользовании как возможный путь решения «ртутной проблемы» России — *Л.Г.Хазанов*, научный сотрудник ВИЭМС.

Термохимические условия образования магнетита на угольных ТЭС — *А.В.Васильев*, аспирант, ФГУ «РТФГИ», Ростов-на-Дону.

Особенности поведения урана в подземных водах зоны затрудненного водообмена по данным физико-химического моделирования — *И.В.Трусова*, студентка ТПУ.

### **Решение жюри Всероссийского конкурса на лучшее печатное издание, посвященное актуальным проблемам геологического изучения недр и популяризации профессии геолога от 26 декабря 2002 г.**

***Присудить звание лауреата Всероссийского конкурса с вручением диплома  
и денежной премии следующим работам.***

Западная Сибирь — крупнейшая нефтегазоносная провинция мира. Этапы открытия и освоения / Составители и ответственные редакторы *Н.Х.Кулахметов, Ф.З.Хафизов*. — Тюмень, 2000.

Новые геофизические технологии прогнозирования нефтегазоносности / *А.В.Овчаренко, А.С.Сафонов, Б.В.Ермаков* и др. — М.: Научный мир, 2001.

Комплект карт плотности перспективных и прогнозных ресурсов нефти и газа Западно-Сибирской провинции. — Тюмень: ЗапСибГеоНАЦ, 2000.

Выявление и картирование дизъюнктивных дислокаций методами разведочной геофизики / *И.А.Мушин, Ю.С.Корольков, А.А.Чернов*. — М.: Научный мир, 2001.

Железородная база России / Главный редактор *В.П.Орлов*. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.

Угольная база России / Главный редактор *В.Ф.Череповский*. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.

Унифицированная классификация горных пород / *Б.И.Бурдэ*. — Хабаровск: ДВИМС, 2000.

Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района. Минерально-сырьевой комплекс на рубеже веков / *Ю.И.Бакулин, В.А.Буряк, Е.А.Кириллов* и др. — Хабаровск: ДВИМС, 1999.

Экогеология России / Главный редактор *Г.С.Вартанян*. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.

Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования) / *В.И.Ваганов*. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.

Рудная сейсморазведка / *Н.А.Караев, Г.Я.Рабинович*. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.

Экономика и управление геологоразведочным производством / *М.А.Комаров, А.А.Ильинский, С.Ж.Даукеев* и др. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999.

Национальная минерально-сырьевая безопасность / *А.И.Кривцов, Б.И.Беневольский, В.М.Минаков*. — М.: ЦНИГРИ, 2000.

Белгородская энциклопедия / Главный редактор *В.В.Овчинников*. — Белгород, 2000.



- Энергия Ямала / Под редакцией *А.М.Брехунцова, В.Н.Битюкова*. — Екатеринбург, 2001.
- Названное именем геолога / *И.В.Громов, С.А.Данильянц*. — М.: Лориен, 1998.
- Отечественные действительные и почетные члены Российской академии наук XVIII—XX вв. Геология и горные науки / *Ю.Я.Соловьев, З.А.Бессуднова, Л.Т.Пржедецкая*. — М.: Научный мир, 2000.
- Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья (История, современное состояние, проблемы, перспективы развития) / Ответственный редактор *Г.А.Юргенсон*. — Новосибирск, 1999.
- Горно-геологическая служба России в документах XVIII—XX вв. / Составители *В.А.Ларичкин, В.К.Петров, В.Н.Полуэктов, А.Д.Федин*. — М.: Земля, 2000.
- Геология в филателии / *А.Г.Кац, В.И.Фельдман*. — М.: Земля, ЗАО «Геоинформмарк», 2000.
- Неизвестный первооткрыватель минерально-сырьевых ресурсов Печорского края *Г.А.Чернов* / *М.Г.Чернова*. — М.: Научный мир, 2001.
- Азимут судьбы. Хроника, воспоминания, материалы / Составитель *В.В.Смирнова*. — Ханты-Мансийск, 2000.
- Геология — жизнь моя. Сборник очерков в 6 томах / Составители *С.И.Голиков, Л.В.Оганесян, Н.В.Межеловский*. — С.-Пб.: ВСЕГЕИ, 2000; М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001.
- Негаснущий костер / Составитель *В.И.Власюк*. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.
- Далекие голоса / *А.А.Константиновский*. — М.: Научный мир, 2000.
- Дорога с грустным перекрестком / Составители *А.А.Беляев, А.А.Иевлев, С.И.Плоскова*. — Сыктывкар, 2000.
- Вкус жизни / *С.Белов*. — М.: НИИ-Природа, 2001.
- Подорожник Сборник стихов / *Т.Полежаева*. — Архангельск, 2000.
- Планета Земля: Учебное пособие / *М.Б. и Т.Б.Сергеевы*. — М.: Земля, 2000.
- Современная геодинамика и гелиодинамика: Учебное пособие* / *К.Г.Леви, С.А.Язев, Н.В.Задонина* и др. — Иркутск: ИрГТУ, 2002.
- Историческая геология с основами палеонтологии: Учебник* / *М.Д.Парфенова*. — Томск: Изд-во науч.-технич. лит-ры, 1999.
- Фотоальбомы**
- Маршрут продолжается / Составители *Е.А.Кириллов, А.И.Холодков*. — Хабаровск: ДВИМС, 2000.
- Таймыр / Составители *О.Н.Симонов, В.И.Рябков*. — М.: Пента, 2000.
- Охотско-Колымский край. 70 лет геологического поиска / Составители *М.Е.Городинский, В.Ф.Белый, В.И.Рябков*. — М.: Пента; Магадан, 1998.
- Геологические памятники природы Оренбургской области / Составители *А.А.Чибилев, Г.Д.Мусихин, В.А.Петрищев* и др. — Оренбург, 2000.
- Цикл видеофильмов**
- Романтики Таймыра, Далекая страна Анабар, Экспедиция на плато Путорана. Создатели: КПР по Таймырскому (Долгано-Ненецкому) Автономному округу и Таймырское отделение РосГео. Производство Таймыр РосГео, 2000.
- Авторский цикл видеофильмов**
- Открывшие горизонт: Геолог Анатолий Брехунцов, Геолог Фарман Салманов, Разведчик Николай Григорьев и др. Автор *В.Битюков* Производство телерадиокомпании Регион-Тюмень, 2000.
- Видеофильм 40 полярных лет. Создатель ПМГРЭ. Производство ЗАО «Регион».

#### *Отметить специальными дипломами:*

ООО «Геоинформцентр», Томский политехнический университет, Дальневосточный научно-исследовательский институт минерального сырья, Таймырское (Долгано-Ненецкое) региональное отделение РосГео за большую работу по изданию книг, посвященных актуальным проблемам геологического изучения недр и популяризации профессии геолога и активное участие в конкурсе.





РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

# ДИПЛОМ

ПРЕЗИДИУМ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
НА ОСНОВАНИИ РЕШЕНИЯ

№ 155 ОТ 17 12 2002 Г.

НАГРАЖДАЕТ

журнал «Отечественная геология»

ПОЧЕТНЫМ ЗНАКОМ  
АКАДЕМИИ  
ЗА ЗАСЛУГИ  
В РАЗВИТИИ НАУКИ  
И ЭКОНОМИКИ  
РОССИИ



ПРЕЗИДЕНТ

ГЛАВНЫЙ  
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

РЕГ. № 253-П



# Contents

Draft. Classifications of reserves, prospective and prognostic resources of oil and combustible gas (distributed by MNR of Russia on February 6, 2003) . . . . .

*Krivtsov A.I., Benevol'sky B.I., Mikhailov B.K.*

Resources, reserves, stages of geological exploration of solid minerals . . . . .

*Morozov A.F., Karpuzov A.F., Petrov O.V.*

«Otechestvennaya Geologia» and Russian geologic cartography . . . . .

*Lavrov N.P., Kremenetsky A.A., Burenkov E.L., Golovin A.A.*

Applied geochemistry — challenges and trends of development . . . . .

*Pertsov A.V., Antipov V.S., Gal'perov G.V.*

Seven decades of aerospace methods of geologic studies of Russia . . . . .

*Ivanov V.L., Andreev S.I., Grikurov G.E., Dodin D.A., Kaminsky*

*V.D., Leichenkov G.L., Murzin R.R., Suprunenko O.I.*

Russian Polar and marine geology at the turn of the XXI-th century . . . . .

*Vartanyan G.S.*

Geodynamic processes in fluidosphere and some of their consequences . . . . .

*Leonov Yu.G., Pevzner L.A., Savelieva G.N., Khutorskoy M.D.*

The Ural super-deep well — a window to the depth of folded belts . . . . .

*Komin M.F., Usova T.Yu.*

Mineral resource base of rare metals in Russia: challenges and solutions . . . . .

*Rafailovich M.S., Vostroknutova A.I.*

Big gold deposits of Kazakhstan . . . . .

*Usmanov F.A., Isakhodjaev B.A.*

Statistical metallogenic analysis: an estimation of resources of concealed ore deposits . . . . .

*Zhuraev Kh.Kh., Zimalina V.Ya., Isakov M.U.*

Geologic peculiarities of the Adjibugut gold deposit . . . . .

## LETTERS TO EDITOR

*Semenovich V.V.*

Some problems of formation and dynamics of deep waters . . . . .

*Krasny L.I.*

«Sovetskaya Geologia»—«Otechestvennaya Geologia» — many years (1938—2000) of commonwealth . . . . .

90-th anniversary Nikolay A.Shilo . . . . .

Information of Russian Geologic Society . . . . .