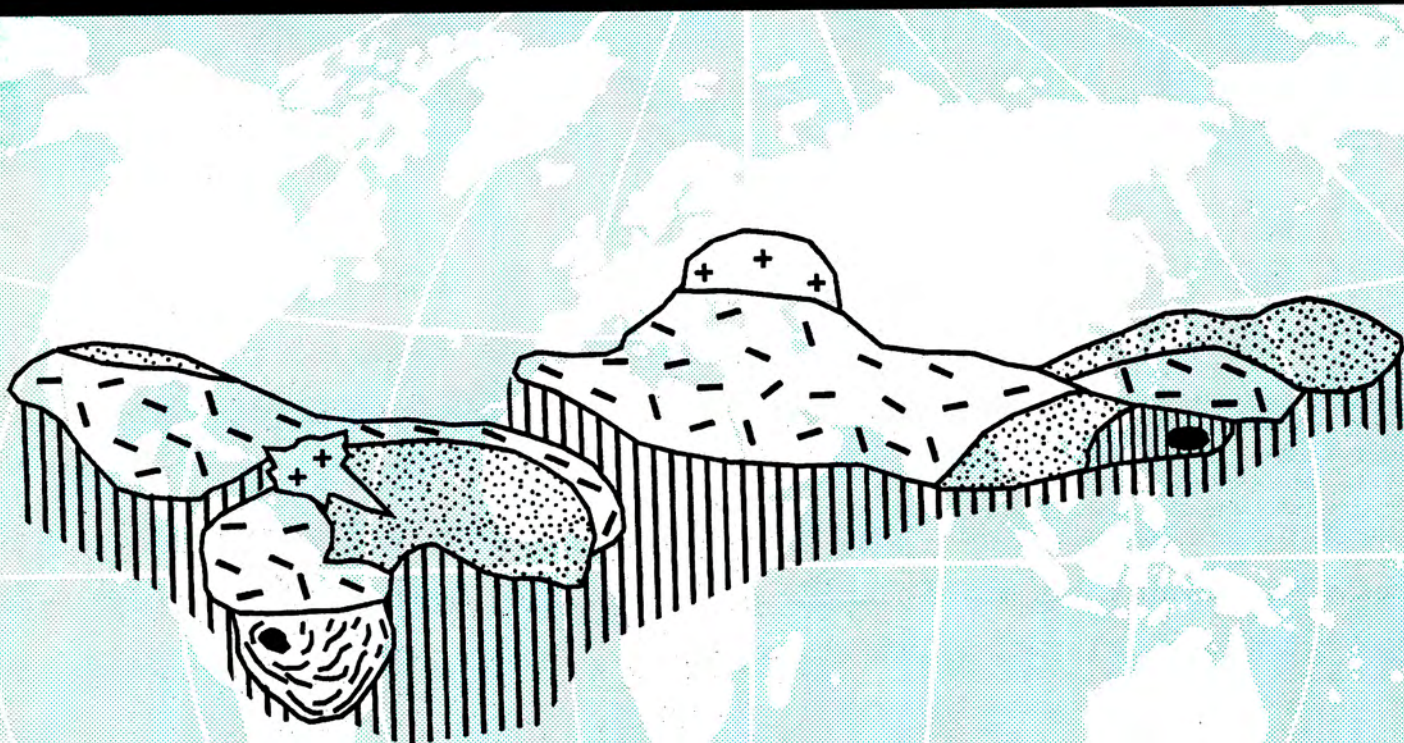


Отечественная ГЕОЛОГИЯ



3/1999

ПЛАТИНОНОСНЫЙ ПОЯС УРАЛА

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ
НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ

НАУКОЕМКОСТЬ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ВЕДОМСТВ РОССИИ

22 февраля 1999 г. Президент Б.Н.Ельцин утвердил Закон «О Федеральном бюджете на 1999 г.».

Федеральный бюджет предусматривает расходы в сумме 575046,6 млн руб. при доходах в 473676, 1 млн руб. и дефиците 101370,5 млн руб.

На фундаментальные исследования и содействие научно-техническому прогрессу (далее ФИиСНТП) в бюджете предусмотрено 11634,5 млн руб. (чуть больше 2% федеральных расходов).

Приоритеты федеральной поддержки отечественной науки отражаются в распределении средств по различным ведомствам и организациям — (млн.руб. с округлениями):

Ведомства и организации	млн. руб.	Доля средств на ФИиСНТП		
		от всех затрат на ФИи СНТП по РФ, %	от затрат по ведомству, %	от затрат на центральный аппарат ведомств, руб/руб
Министерство науки и технологий	2683,3	23,1		
Российское космическое агентство	2591,1	22,3		
Российская Академия наук (РАН)	2203,9	18,9		
Министерство экономики	1955,1	16,8		
Министерство общего и профессионального образования	859,2	7,4	5,7	25,2
Сибирское отделение РАН	794,9	6,8		
Государственный комитет по рыболовству	747,5	6,4	20,7	67,9
Российский Фонд фундаментальных исследований	698,1	6,0		
Российская Академия сельскохозяйственных наук	419,5	3,6		
Дальневосточное отделение РАН	314,5	2,7		
Российская Академия ме-дицинских наук	241,8	2,1		
Уральское отделение РАН	238,0	2,0		
Министерство здравоохранения	208,1	1,8	2,3	8,9
Российский гуманитарный фонд	116,3	1,0		
Московский госуниверситет	84,1	0,7		
Министерство сельского хозяйства и продовольствия	77,7	0,7	0,8	1,4
Российская Академия образования	68,3	0,6		
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	48,9	0,4	8,6	5,9
Министерство транспорта	48,0	0,4	3,7	1,0
Федеральное управление медико-биологических и экспериментальных проблем	42,2	0,4		
Госкомитет по охране окружающей среды	35,6	0,3	6,6	1,8
Управление делами Президента РФ	26,3	0,2		
Министерство природных ресурсов	23,5	0,2	0,6	1,3
Госкомитет по связи и информатизации	23,1	0,2	13,6	1,1
Министерство труда и социального развития	21,4	0,2	1,0	0,4
Министерство топлива и энергетики	19,3	0,2	0,3	0,3
Министерство культуры	18,9	0,2	0,7	1,1
Федеральная авиационная служба	17,8	0,1	5,1	0,9
Российская Академия художеств	16,3	0,1		
Госкомитет по стандартизации и метрологии	14,6	0,1	17,4	1,4
Федеральная служба лесного хозяйства	12,9	0,1	0,7	0,8
Госкомитет по печати	12,7	0,1	5,4	0,9
Министерство по чрезвычайным ситуациям	11,8	0,1	0,9	0,6
Министерство по налогам и сборам	9,8	0,1	0,2	0,1
Госкомитет по статистике	9,6	0,08	0,9	0,1

Научоемкость различных отраслей и ведомств в приведенном перечне отражена через отношения затрат, показанные в третьей и четвертой колонках.

По Министерству природных ресурсов общие расходы в Федеральном бюджете определены в 4193,7 млн руб., из них 3600 млн руб. за счет Федерального фонда воспроизводства минерально-сырьевой базы. На региональные работы по геологическому изучению недр России, континентального шельфа и Мирового океана намечено затратить 1967,4 млн руб., на геологоразведочные работы 1056,8 млн руб., на управление госфондом недр 275,8 млн руб., на фундаментальные исследования и содействие научно-техническому прогрессу 23,5 млн руб.

В бюджетных средствах, выделяемых Российской Академии наук, на геологоразведочные работы предусмотрено 39,2 млн руб.

Отечественная ГЕОЛОГИЯ

Журнал выходит один раз в два месяца

Основан в марте 1933 года

3/1999

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), *Н. Н. Ведерников, И. С. Грамберг, А. Н. Еремеев, А. И. Жамойда, А. Н. Золотов, А. Б. Каждан, 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*

ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА	3
Из переписки Е.А.Козловского и Д.Пэка	4
Фролов В.Т.	
О месте и роли российской геологии в мировой науке	5
Гончаров М.А.	
От тектоники литосферных плит — к геодинамике «терапевтически соподчиненных литосфер»	10

МЕТАЛЛОГЕНИЯ И МИНЕРАГЕНИЯ

Фогельман Н.А.	
Основные принципы формационного анализа золотоносных районов и рудных полей в целях прогноза	14
Кременецкий А.А., Гусев Г.С.	
Оценка минерогенического потенциала рифтогенных комплексов и осадочного чехла Восточно-Европейской платформы методами поисковой геохимии	19
Скрипченко Н.С., Тамбиев А.С.	
Линейность свинцово-изотопных дисперсий как металлогенический критерий	27

СТРАТИГРАФИЯ, РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТНИКА

Ефимов А.А.	
Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах	31
Казаков А.Н.	
Геотектоническое расчленение и стадийность метаморфизма Мамской кристаллической полосы	40
Рублев А.Г., Шергина Ю.П., Берзон Е.И., Барсегян В.Е., Левченков О.А., Яковлева С.С.	
Изотопный возраст палеозойских вулканитов Красноярского поднятия и проблемы стратиграфии быскарской серии	47

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Бгатов В.И., Лизалек Н.А., Кужельный Н.М.	
Изучение зоны минерального питания растений при эколого-геологических исследованиях	55
Трофимов В.Т., Зимич Д.Г.	
Содержание и значение учения об экологических функциях литосферы	58

РЕЦЕНЗИИ

Федорчук В.П.	
Геологический атлас России	65
Белоусов А.Ф.	
Петрохимическая диаграмма и петрогенетическая модель	67
Константиновский А.А.	
Происхождение и рудоносность осадочных бассейнов	68
Барышев А.Н., Горжеский Д.И.	
Новая геологическая карта Казахстана	70

ИНФОРМАЦИЯ

Носовский М.Ф.	
Некоторые комментарии к стратиграфической шкале палеогена и неогена в Стратиграфическом кодексе Украины	71
70-летие Евгения Александровича Козловского	74

К 300-ЛЕТИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РОССИИ

Золотов К.К., Олерский В.П., Рапопорт М.С.	
Уральской геолого-съемочной экспедиции — 50 лет	75
О чем писал наш журнал	78

Редакция: Р.В.Добровольская, М.В.Рогачева
Компьютерный набор В.К.Комарова
Верстка и оригинал-макет П.А.Сандомирский

Сдано в набор 15.02.99. Подписано в печать 15.04.99. Формат 60×88/8. Бумага мелованная.
Печать офсетная. Тираж 1000 экз.

Адрес редакции: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 1296.
Телефон: 315—28—47

Отпечатано Государственным картографо-геодезическим предприятием «Поликарт»

Пятнадцать лет назад в Москве состоялась XXVII сессия Международного геологического конгресса, а спустя пять лет был подписан Меморандум о договоренности по сотрудничеству в области наук о Земле между Министерством геологии СССР и Геологической службой США на основе соответствующего межправительственного соглашения.

Широкая демонстрация отечественных научных достижений на Московской сессии Международного геологического конгресса, серия экскурсий во многие районы СССР, открытость и доступность материалов по важнейшим отечественным программам были высоко оценены международной геологической общественностью. Многие американские ученые и представители Геологической службы США пришли к выводу о целесообразности и необходимости сотрудничества с отечественными геологическими организациями. Однако даже при наличии доброй воли с обеих геологических сторон для организации сотрудничества потребовалось пять лет и серия сложных переговоров, проходивших в Москве и Вашингтоне.

Автору этих строк довелось участвовать практически во всех стадиях работы по подготовке межправительственного соглашения и межведомственного меморандума. На первых же встречах наиболее сложным оказался вопрос о согласованном понимании объекта соглашения и меморандума. С одной стороны, выдвинутый американцами термин «базовые науки» не был поддержан нашей стороной, поскольку изначально предполагалась организация сотрудничества во всей сфере наук о Земле без какого-либо их деления. С другой, упомянутый термин не имеет эквивалентного содержательного звучания в русском языке. Американская сторона не приняла определение «фундаментальные науки», опасаясь, что в этой сфере могут оказаться и стратегические исследования оборонного назначения.

После долгих и в целом малопродуктивных дискуссий наша делегация предложила компромиссный термин — «базовые научные исследования» (*basic scientific research*), который и был принят двусторонней рабочей группой. В дальнейшем по настоянию Госдепартамента США в Соглашение и Меморандум было введено определение данного термина. Предложенные редакции определения в острых дискуссиях неоднократно изменялись и исправлялись. Наша делегация, отмечая непредсказуемость результатов научных исследований, предопределенной самой сутью научного поиска, возражала против введения в определение каких-либо ограничений, однако ради достижения главной цели в конце концов согласилась с включением в документы следующей формулировки: «под базовыми научными исследованиями подразумеваются теоретические и экспериментальные исследования, имеющие своей целью получение более полных знаний или понимания основополагающих аспектов явлений и наблюдаемых фактов; такие исследования расширяют базу знаний, приносящих значительную пользу для общества; в рамках этого Соглашения такие исследования не направлены на превращение новых открытий в прикладные технологии. Указанное определение не исключает последующего применения знаний или пониманий, полученных в результате базовых научных исследований, ... при условии соблюдения положений Приложений к Соглашению ...».

Столь же острым было обсуждение возможных участников сотрудничества. Американская сторона решительно отвергала допуск к сотрудничеству частных фирм, что ограничивало возможности правительственного регулирования, и с большой неохотой согласилось на сотрудничество между «... отдельными учеными, специалистами и исследователями».

По настоянию американской стороны в Соглашение и Меморандум были включены разделы «Права интеллектуальной собственности». Отсутствие в СССР соответствующей правовой базы в отношении интеллектуальной собственности определило принятие американской версии разделов. Уместно упомянуть, что в современной России до сих пор не приняты законы, защищающие интеллектуальную собственность.

Конкретное сотрудничество между американскими и советскими геологами практически началось в дни проведения в Вашингтоне XXVIII сессии Международного геологического конгресса и на сопровождавших сессию экскурсиях. В этот период были конкретизированы ранее обсуждавшиеся направления и темы сотрудничества, способы и сроки реализации соответствующих мероприятий.

Среди наиболее значительных совместных проектов следует отметить изучение континентальной коры сверхглубоким бурением и транsekтами, методы прогноза нефтегазоносности и рудоносности, закономерности размещения уникальных месторождений стратегических полезных ископаемых, сравнительный металлогенический анализ Северо-Востока России и Аляски, вскрытие бурением донных отложений Байкала. Результаты работ по этим проектам получили весьма высокие оценки со стороны наших партнеров, чем подтвердились позиции руководителей геологических служб США и СССР (см. стр. 4 данного номера).

На этом фоне выглядит по крайней мере странно статья А. Керра о науке в России («Контакты с Западом несут культурную революцию», *Science*. Vol. 264. May 1994), вышедшая как раз к пятилетию сотрудничества. Публикуемая в данном номере журнала статья В.Т. Фролова может рассматриваться как объективная реакция на упомянутую и подобные зарубежные публикации.

В статье Р.А. Керра отмечается «архаичность» отечественных тектонических построений и отсутствие тотального принятия идей новой глобальной тектоники, что объясняется существованием в прошлом неких запретительных режимов. Оставляя эти утверждения на совести автора, напомним, что в 1986 г. Мингео СССР и АН СССР провели в Минске широкое совещание с целью анализа состояния отечественных тектонических построений и выбора направлений их развития. Совещание ничего не запретило и не отвергло. По его решению был организован Киргизский геодинамический полигон для выполнения комплекса геологических и геофизических исследований с целью проведения геодинамических реконструкций на базе картирования геологических формаций. Такой крупномасштабной и дорогостоящей эксперимент не был поставлен ни в одной стране мира. Уже в 1989 г. впервые в мире Мингео СССР издало «Геодинамическую карту СССР» масштаба 1:2 500 000.

Разумный консерватизм многих отечественных геологов, в первую очередь металлогенистов и поисковиков, в отношении идей плитной тектоники имеет достаточно объективные основы. Территория СНГ покрыта геологическими съемками масштаба 1:200 000 и 1:50 000 (частично) при взаимной увязке листов карт друг с другом, чего нет, например, в США. Вследствие этого любые мелкомасштабные тектонические построения, не считающиеся с содержанием более детальных карт, воспринимаются по крайней мере недоверчиво.

Старшее поколение отечественных ученых, хорошо знающее последствия идеологизации науки на примере биологии, генетики и кибернетики, более склонно доверять наблюдениям и таким теоретическим построениям, которые доступны для проверки и воспроизведения. Наконец, хорошо известно, что история геологических наук — это череда рождающихся, противоборствующих и отмирающих гипотез, приводящая в итоге к углублению нашего понимания развития Земли и ее строения. Тектоника плит — лишь одна из таких гипотез, уже перешедшая рубеж своего «звездного часа», о чем, в частности, свидетельствуют материалы XXXII Тектонического совещания (Москва, февраль 1999 г.). В ряде докладов

этого совещания (В.Е.Хаин, А.Ф.Грачев, М.А.Гончаров и др.) обозначены основные черты новой геотектонической концепции, которая так или иначе «поглощает» плейт-тектонику в ее базовом понимании. Вместе с тем нельзя не отметить, что современная геодинамика «уходит» на такие глубины Земли, а объекты земной коры так укрупняются, что связи классической и практической геологии с глубинной геодинамикой все более разрываются. Рождение любой новой науки можно только приветствовать, но, вероятно, уже настало время определить главные объекты различных геологических наук, их взаимосвязи и соотношения с учетом иерархии исследуемых геологических тел и зон Земли.

Одной из работ, выполнявшихся в рамках советско-американского сотрудничества, было сопоставление террейнов Северо-Востока России и Аляски. В какой-то мере оценивая итоги этих и подобных исследований, Ч.Р.Борукаев в 1998 г. в журнале «Геология и геофизика» (№ 10, 1998) опубликовал статью о террейновом анализе с подзаголовком «террейнология или террейномания?», в которой убедительно показал отсутствие «логи» и наличие признаков «мании». Но уже в следующем номере (№ 11) этого же журнала Ю.А.Зорин с соавторами укоряет «часть российских геологов» в избыточном скептицизме в отношении поисковой и металлогенической эффективности плитотектонического и террейнового анализа. Однако интерпретации закономерностей размещения золоторудных месторождений Забайкалья, содержащиеся в статье Ю.А.Зорина с коллегами, могут только усилить скептицизм такого рода. Авторы, не разделяя месторождения по известным в настоящее время возрастам, относят их все к постколлизийным (позднеюрским), размещая над и под сутурными швами, которые оказываются магмоактивными. Таким образом, все более ранние проявления плутонизма, начиная с палеозоя, оказываются незолотоносными, чего и следовало ожидать в силу исходного отказа авторов от группировки деления месторождений по возрастам. Подобного рода исследования явно «...не направлены на превращение новых открытий в прикладные технологии» (см. выше).

Вероятно, уже настало время разобраться в том, где в отечественных геологических науках господствуют «логи» и где — «мании», независимо от статуса, идейных позиций и местонахождения «грантодателей».

Из переписки Министра геологии СССР профессора Е.А.Козловского и Директора Геологической службы США доктора Д.Пэка

Профессору Е.Козловскому
Министру геологии СССР
8 марта 1989 г.

Уважаемый профессор Козловский!

Хочу поздравить Вас лично с успешным завершением переговоров и подготовкой Меморандума о взаимопонимании между Министерством геологии СССР и Геологической службой США. Я глубоко удовлетворен тем, что наши усилия на протяжении последних 2 лет успешно завершились. Хотелось бы выразить благодарность Вам и Вашим коллегам за ваш вклад в это дело...

Мы планируем во время предстоящего Международного геологического конгресса провести небольшую церемонию, где бы Вы и я могли отметить завершение этой работы и начало совместной деятельности в соответствии с Меморандумом.

Я с большими надеждами ожидаю следующей стадии нашей совместной деятельности, когда наши ученые смогут засучить рукава и начать настоящую работу. Из своих собственных контактов с советскими геологами и из разговоров с геологами Геологической службы я был поражен возможностями и энтузиазмом советских коллег. Я убежден, что нашими совместными усилиями мы сможем сделать многое, что будет приветствоваться в обеих наших странах.

В заключение примите самые теплые пожелания Вам и Вашей семье. Ожидаю Вашего ответа в ближайшем будущем.

Искренне Ваш,

Даллас Л.Пэк
Директор

Доктору Д.Л.Пэку
Директору Геологической службы США
10 апреля 1989 г.

Уважаемый доктор Д.Пэк!

Благодарю Вас за поздравления, выраженные в Вашем письме от 8 марта. Со своей стороны я хочу выразить удовлетворение успешным завершением работы по подготовке Меморандума о взаимоотношении между Мингео СССР и Геологической службой США.

Позвольте поздравить Вас и Ваших коллег с этим важным актом, открывающим возможности развития советско-американского сотрудничества в науках о Земле...

Предлагаемая Вами процедура подписания текстов Меморандума и обмена ими в период проведения МГК-28 отвечает нашим пожеланиям. Представляется, что началу сотрудничества будут способствовать встречи и дискуссии наших ученых на МГК-28, которые позволят определить направления будущих совместных проектов.

С наилучшими пожеланиями,

Е.А.Козловский

О месте и роли российской геологии в мировой науке

В.Т.ФРОЛОВ (МГУ)

С недавних пор некоторая часть российских геологов вслед за иностранными уверяет другую часть (и, наверное, себя) в отсталости советской и российской геологии по сравнению с западной, причиной чего считается наша бывшая «изолированность». Не скрывается и повод для все более настойчивых негативных оценок — это неприятие большинством отечественных геологов «теории тектоники плит» — «господствующей на Западе парадигмы» [13]. В этой связи даже задается вопрос — имеет ли будущее геологическая наука в России? и утверждается, что контакты с Западом несут в нашу геологию культурную революцию.*

Не отрицая определенную оторванность нашей геологической науки от мировой в советские годы, временами и избыточную секретность, а в последнее десятилетие и отставание в техническом оснащении (из-за недостаточного финансирования), объективно анализируя баланс потоков информации к нам и на Запад, приходишь, к казалось бы парадоксальному, выводу о большей изолированности западных, особенно американских геологов от советской, а теперь и от российской науки по сравнению с нашей отделенностью от Запада. В геологии железный занавес был далеко не политическим, а скорее языковым и, скажем, этическим. Главный барьер определялся высокомерием многих западных геологов, не умевших и не считавших (и не считающих!) нужным читать на чужом языке работы советских и российских ученых.

Российские геологи, начиная с XVIII в., хорошо знали все основные работы европейских и американских ученых, читая их в подлинниках, а потом и в хороших переводах, благодаря созданной в нашей стране уникальной системе доступа к мировой науке — через ценнейшие реферативные журналы, публикации тысяч монографий и учебников издательствами «Иностранная литература», «Мир», «Недра», «Наука», «Мысль» и др. Систематически переводилась и большая часть специальных научных журналов.

Многие советские геологи непосредственно изучали практически все материки и дно океанов как в международных проектах и экспедициях, так и специальных советских группах. Отечественные геологи осваивали языки и пользовались литературой достаточно большого числа стран. Советские геологи имели уникальную возможность мыслить глобально, даже не выходя за пределы своей страны — так разнообразна она геологически и богата всеми полезными ископаемыми. Нельзя представлять нас «эндемичной фауной» уже в силу огромности и политипности нашей территории, которую в научном плане нарастили наши морские геологи, географы и биологи при планомерном изучении Мирового океана всеми современными методами, особенно после второй мировой войны. Мы принимали участие и в самых грандиозных проектах по глубоководному бурению дна океанов и морей, главным организатором и исполнителем которых были ученые США. В нашей стране были организованы ком-

плексные исследования континентальной коры сверхглубоким бурением и геолого-геофизическими трансектами, чего не могли себе позволить даже самые богатые страны.

Можно было бы продолжить перечисление фактов о наших глобальных связях и достижениях в изучении Земли и дна океанов, но и приведенного достаточно, чтобы сделать вывод о несостоятельности объяснений не единодушного и не поспешного принятия уже первых вариантов мобилистской тектоники. Дело здесь не в изолированности и не в незнании западных идей, а в чем-то другом. Чтобы понять устойчивость неприятия большинством российских геологов плейттектонической «пандемии», следует обратиться к базовым составляющим наук о Земле, отечественные достижения в которых за рубежом не только не воспринимались, но и замалчивались.

Стратиграфия — база всех геологических наук — исторически в России и СССР была на самом высоком уровне, в биостратиграфии не уступающая всей мировой науке, что показал Б.С.Соколов [3], а в региональной стратиграфии превосходящая и превосходящая этот уровень. В первой пионерными были вовлечение строматолитов и других нетрадиционных групп организмов и биолитов в практику биостратиграфии (А.Г.Вологдин, В.П.Маслов, З.А.Журавлева, Вл.А.Комар, М.А.Семихатов, В.В.Хоментовский, С.В.Нужнов и др.) и выделение пока единственной системы в докембрии — вендской — на северо-западе СССР (Б.С.Соколов), всех ярусов кембрия (Сибирь, Казахстан) и серпуховского яруса в нижнем карбоне — они признаны мировым сообществом. Выделенные ранее русскими геологами на территории Русской плиты и в Предуралье ярусы среднего и верхнего карбона и перми также стали общепринятыми. Мировым сообществом были признаны достижения советских российских палеонтологов в изучении микрофауны и микрофлоры, а потом и нанопланктона.

Особенно много сделали отечественные геологи в разработке принципов, методов и теоретических основ региональной стратиграфии (А.Н.Криштофович, Г.П.Леонов и их последователи), которой принадлежит будущее и в которой ни в одной стране не были достигнуты высоты, уже занятые Россией. В качестве регстратонов российские геологи выделяют комплексы слоев, отвечающие этапам развития регионов, бассейнов седиментации или других целостных, самостоятельных областей земной коры. Сначала они назывались регсвитами (в отличие от местных, чисто литостратиграфических свит, подобных формациям на геологических картах США), сериями, а в настоящее время все больше за ними закрепляется название горизонт. Это — основной регстратон региональной схемы, т.е. основная регстратиграфическая единица, по смыслу и содержанию являющаяся и формационной единицей — конкретной формацией, которая далее, уже в рамках формационной логики, интерпретируется как тот или иной формационный тип, т.е. как собственно формация (геоформация). Регсвиты, серии или горизонты, т.е. конкретные формационные единицы, обладают единственным местом, времени и условий образования и поэтому являются главными историко-геологическими те-

* См. Science, May, 1994. Vol. 264. P. 1277—1281.

лами (и документами). Они единичны, индивидуальны и во многом неповторимы, в особенности по фациальной структуре, которая наиболее точно указывает на размещение полезного ископаемого или полезного свойства (пористость, флюидоупоры и т.д.). Российские регстратоны (РРС) полипородны, полифациальны, полигенетичны, т.е. сложны по строению и составу. Однако это целостные ансамбли литофаций, т.е. полноценные историко-геологические системы, выделяющиеся в результате сложного, комплексного творческого исследовательского процесса, в котором важны опыт исследователя, его интуиция и допущения, но который остается фактологическим. Его фокус — корреляция разрезов.

Ценные качества РРС казалось бы должны обеспечить им признание во всех странах. Но агрессивно распространяются формации американской школы (ФАШ). Дело не только в происхождении такого стратона, но и в его примитивизме (что проще литологической однородности?) и, как бы, простоте выделения. А примитивизм, как и простота, заразительны. Им в жертву приносится качество стратона. ФАШ часто нерегиональны и разновозрастны, что исходно обусловлено «автономностью» отдельных листов геолкарт США, отражающей индивидуализм исследователей, штатов и их округов. Как бы в качестве компенсации, в США на базе новых методов корреляции (сейсмических, палеомагнитных, климатических и др.) разработаны соответствующие частные стратиграфии. Из последних быстро распространяется так называемая секвентная стратиграфия, основанная не только на сеймостратиграфической корреляции, но и на корреляции смены слоев колебаниями уровня Мирового океана. При желании такое соответствие всегда можно найти, что нередко приводит к подгонке природы под принятый шаблон. Но еще больше удивляет та легкость скачка от почти крайнего позитивизма (что не вижу, то не факт), на котором основано выделение ФАШ, к спекулятивным построениям, которых никогда не допускали российские стратиграфы. Старательные ученики начинают выделять секвенции и в отложениях пресноводных и внутриконтинентальных морских.

Литология — вторая фундаментальная, уже в основном вещественно-генетическая наука об экзолитах (осадочных породах), помогающая стратиграфии решать ее задачи, но (главное) изучающая более мелкие (по сравнению с регстратонами) геотела для познания их происхождения, что позволяет познать обстановки образования регстратонов и тем самым расшифровать их формационно (помощь формациологии). А это снова «работа» на стратиграфию и геологическую историю, только представляемая уже богатой «красками» и деталями и «оживающая» ландшафтами, когда этапы развития бассейна седиментации (или региона) «насыщаются» конкретностью и еще больше индивидуализируются.

Высокий уровень советской, а потом и собственно российской литологии был общеизвестен и признан во всем мире. Наша литология, как и стратиграфия, полимодальна. Одна линия — петрография осадочных пород — идет от М.С.Швецова, впервые в мире (1922 г.) начавшего читать в МГУ этот курс. Его ученик П.Д.Крынин в Остине (Техас) основал одну из самых сильных американских школ и подготовил виднейшего седиментолога Р.Фолка, считавшего, что он — русских, шведовских корней. Надо признать, что сейчас мы отстаем по аналитическим ме-

тодам и материалам, хотя и пытаемся восполнить недостаток материальной базы все большим развитием макролитогенетических исследований.

Другая, геохимическая линия, представленная исследованиями Л.В.Пустовалова, Н.М.Страхова, А.Б.Ронов и их последователей, громко заявила о новой науке уникальными, пока непревзойденными трудами с нестареющими идеями и теориями об осадочной дифференциации, о типах литогенеза и их эволюции в истории Земли, о геохимических фациях, факторах концентрации и рассеяния рудных компонентов и др. Третья линия — законы современного и мезозойско-кайнозойского осадконакопления в океанах и морях (М.В.Кленова, А.П.Лисицын и др.) — по обобщениям представляет отечественную науку на самом высоком уровне.

Четвертая линия объединяет разнообразнейшие исследования каустобиолитов, бокситов, руд железа, марганца, меди, полиметаллов, урана, фосфоритов, эвапоритов, железомарганцевых конкреций, глин, россыпей, карбонатных и других полезных ископаемых, которыми так богата Россия. Многие пионерные монографии остаются и в настоящее время образцовыми и непревзойденными. Отдельного упоминания заслуживает криолитоология, выросшая на базе изучения обширных пространств с многолетней мерзлотой и достигшая у нас наивысшего уровня.

Завершить представление литологии можно общегеологическим учением о генетических типах осадков, пород и отложений — чисто русским следствием комплексного анализа, зародившегося в середине XIX в. и развитого А.П.Павловым, С.Н.Никитиным, Н.И.Николаевым, Е.В.Шанцером, В.И.Поповым, В.Т.Фроловым и др. Этот метод позволил перейти от изолированного изучения литологических признаков (структуры, текстуры, минерального состава, формы тела, биоконкрементов и т.д.) к их комплексному анализу на типовых «носителях» — слоях определенных типов, т.е. на литотипах. Без этого метода невозможно было глубоко познать природу экзолитов разного ранга и создать непротиворечивые генетические теории. Без него не могла возникнуть и новая наука — формациология (формационный анализ). За 150 лет успешного использования метода и учения в России и СССР был создан ряд руководств и монографий и многие из них были переведены в нашей стране на иностранные языки. Однако в Европе и Америке все это оказалось практически неизвестным и невостребованным. Генетические исследования там проводятся архаично и недостаточно эффективно. Что нужно, чтобы зарубежная геология в этой сфере достигла уровня российской? Какие и чьи барьеры мешают этому? Снова приходится возвращаться к проблеме высокомерного неприятия. Только один русский генетический тип был глубоко воспринят — это почвы, учение о которых создал В.В.Докучаев еще в XIX в. Сколько же лет понадобилось для восприятия этого учения в целом?

Формациология — новая и опять-таки чисто русская наука, хотя истоки ее в европейской геологии (М.Бертран и другие геологи, изучавшие Альпы в конце XIX и начале XX вв.). Тем не менее, ничего подобного в настоящее время на Западе нет. Это наука о геологических формациях, т.е. телах геологического масштаба, которые принято называть надпородными. Пионеры формациологии — В.И.Попов, Н.С.Шатский и Н.Б.Вассоевич (1938—1940 гг.), понимавшие формации чисто литологически, как парагенезы (ассоциации) горных пород. Однако

вскоре обнаружилось, что специфичность формационных видов, или типов — не в породном, а в генетическом составе (Н.М.Страхов, В.И.Попов, В.Т.Фролов и др.). Теперь все чаще геоформация (ГФ) определяется как региональный парагенез генетических типов отложений, отвечающий той или иной геологической обстановке его образования. Таковы флиш, моласса, рифовые, вулканические и другие геоформации. Собственно ГФ — не конкретное тело, а тип, т.е. абстрактное, типовое понятие. В качестве же формационной единицы, или конкретной формации, могут быть лишь полноценные в историко-геологическом отношении тела — регстратоны. Следовательно, выделяются формационные единицы не в рамках формациологии, а при региональных стратиграфических исследованиях, т.е. объективно, без какой-либо генетической заданности. В рамках собственно науки о ГФ производится классификация ГФ, изучение их породного состава, строения (фациального и циклитового) и определение генетических типов отложений, прежде всего формациеобразующих, которые и позволяют понять генезис ГФ и отнести их к той или иной классификационной «клетке» ГФ, как это делается в более мелком масштабе в генетическом анализе (отнесение по комплексу диагностических признаков литотипов слоев к определенным генотипам).

Формационный анализ стал методом полноценного тектонического изучения регионов и геосторического синтеза как отражения режимов их развития. Это действенный отрезвляющий фактор для эйфорических или фанатичных, идеологически заданных геотектонических «парадигм». Укажем, в частности, что многие реально установленные ряды формаций складчатых поясов, которые модно считать закрывшимися океанами, не имеют ничего общего с объективно выделяемыми собственно океаническими формациями [4–7].

Хотелось бы надеяться, что потребности в новых методах и теориях приведут и зарубежных геологов к признанию формациологии, как это произошло с идеями о катастрофизме, актуализме-униформизме и типами литогенеза. В российской геологии понятие о ГФ и формационный метод широко используется не только в тектонике и геосторическом синтезе, но и в учении о полезных ископаемых и инженерной геологии. На этой основе возникла современная методология отечественной металлогении и минерогении — рудно-формационный анализ.

Петрология — наука об эндолитах (магматических и метаморфических породах) — в России и СССР всегда была на высоком уровне, и доказывать это излишне. Однако стоит поставить вопрос — почему при таком высоком научном уровне отечественной петрологии идеи тектоники плит и в целом современный мобилизм не охватили поголовно наших петрологов? Дело вовсе не в отсталости российских петрологов, а в высоком уровне российской петрологии, в том, что современные геотектонические парадигмы не учитывали и не считались с фактографической петрологической базой. Отечественная петрология давно вышла из рамок чисто вещественной науки — петрографии — и стала комплексной петролого-геологической (вещественно-формационной) наукой о недрах, физико-химических, термодинамических и механических процессах на разных глубинах Земли, крупных геологических телах — эндоформациях горных пород, о геодинамике на континентах и в океанах и от эволюции первичного и

вторичного вещества Земли. Наши петрологи сумели совместить внимание к тонким различиям магматитов в разных геоструктурах и сегментах Земли с глобальностью подхода и органично соединить изучение вещества и историко-геологический метод. Это, по-видимому, и определило разумную сдержанность отечественных петрологов в отношении супермобилизма и сохранение объективных умеренных позиций идеологически незаданного, конъюнктурно непредопределенного понимания и изучения природных объектов.

Магмолиты, в особенности вулканыты, стали весьма привлекательными для плейттектонистов, которые вопреки расплывчатости их петрохимических характеристик уверенно и однозначно выделяют древние островные дуги, зоны субдукции, спрединга и т.п. При этом игнорируется многозначность подобных индикаторов, из которых выбирается лишь то, что «работает» на избранную модель. Часто признака андезитового, или известково-щелочного вулканизма отказывается достаточно для восстановления положения зон субдукции [6, 7]. В.Ф.Белый, Т.И.Фролова, В.С.Попов и другие петрологи убедительно показали полигенетичность многих серий эффузивов, генерирующихся и в вулканических поясах, на тысячи километров отстоящих от океанов (Охотско-Чукотский пояс), и во внутриконтинентальных геосинклиналях (Крым, Кавказ, Альпы, Урал, Центральный Казахстан и др.). Необходимые для их генерации режимы застойности (геодинамический режим сжатия) в некоторые периоды формирования магматических очагов и достаточная обводненность создаются в весьма разнообразных структурах континентальной коры. Утолщенная кора под Японией, Курилами, Камчаткой, Алеутами и другими окраинными Тихоокеанскими дугами и наличие в ней «гранитно-метаморфического» слоя однозначно указывают на реликтивно-континентальный их фундамент.

Вслед за американцами тектонически упрощенно или просто неверно трактуются и интрузивные магматиты, в особенности гипербазиты и офиолитовые ассоциации в целом. Так, все офиолиты на континентах однозначно принимаются как доказательство «захлопнувшихся» океанов, хотя неопределенность этого признака признается даже некоторыми ортодоксальными приверженцами неомобилизма.

В 60–70-е годы в СССР был разработан оригинальный и эффективный обобщающий метод — формационный анализ магматических пород (Ю.А.Кузнецов и др.), непонятый и невосприимчивый на Западе. Магматические формации, как глубинные, так и эффузивные, сменили ранее употреблявшееся при картировании менее четкое понятие «петрографические провинции»; они стали основой геологической съемки огромных территорий СССР, привели к важным тектоническим и историко-геологическим выводам (в частности, к установлению унаследованности магмолитов в течение сотен миллионов лет), к обнаружению разнообразных месторождений полезных ископаемых и к крупным металлогеническим обобщениям (В.И.Смирнов, Е.А.Радкевич, А.Д.Шеглов и др.). И это направление осталось незамеченным на Западе, хотя многие труды отечественных металлогенистов докладывались на международных форумах и переводились (не только на английский язык).

Уникальное направление в петрологии, основанное на трудах Д.С.Коржинского о методах физико-химического анализа парагенезов минералов, все же

вышло за пределы СССР, но масштабы его внешнего использования несопоставимы по сравнению с Россией и возможностями метода. Он позволяет объективно восстановить историю формирования магмолита и по ней — общие физико-химические и геодинамические условия недр. На этой базе Л.Л.Перчуком и его школой разработана теория фазового соответствия, позволившая получить ценные геотермометры и геобарометры для условий образования магматических и метаморфических пород и для анализа динамики состояния земной коры и верхней мантии.

Исключительно плодотворны развившиеся в СССР исследования по оценке роли флюидов в формировании и преобразовании горных пород и их массивов и самом магомобразовании (Д.С.Коржинский, Ю.А.Кузнецов, А.А.Маракушев и др.). На этой теоретической базе были обоснованы положения о магматическом замещении, например, в результате изобразительного плавления пород с образованием (под влиянием восходящих мантийных флюидов) более легкоплавких магм. В приложении к гранитообразованию была решена вековая проблема пространства для гранитных батолитов в земной коре и была найдена основа примирения «трансформистов» с «магматистами». Новый вариант магматического замещения, разработанный группой Л.Л.Перчука, а именно базификация сиалической коры, — реальная альтернатива спрединговой модели, требующая оценки значимости тафрогенеза, всячески избегаемого плейттектонистами.

Тектоника — наука в основном о вторичных (по отношению к седиментационным) структурах земной коры, изучающая ее строение и преимущественно геодинамические процессы формирования, а также развитие Земли в целом — всегда рассматривалась как синтезирующая общегеологическая, так или иначе претендующая на роль философии геологии. Она опирается как на собственный первичный материал, так и на обобщения данных стратиграфии, геологической съемки, петрологии, геофизики, формациологии и других наук, а в генетической и интерпретационной частях широко использует рабочие гипотезы, модели, интуицию и лишь отчасти эксперимент. В ней всегда было много взаимоисключающих гипотез и моделей (это даже называлось «тектоническим бедламом»), что (тем не менее!) служило гносеологической базой для развития как геотектоники, так и геологии в целом. Соответственно, современное противостояние фиксизма и мобилизма, тектоники плит и тектоники «плюмов» (правильнее все же «плюмажей»!) или магматических диапиров — можно было бы оценивать положительно при условии исключения запретительства с любой из сторон.

Российская геотектоника всегда была на уровне мировой науки, в ней господствовал плюрализм мнений, хотя иногда негативная реакция на новое выражалась в субъективной собственноручной научной журнальной цензуре. В целом же, новые идеи у нас не запрещались и не замалчивались. Именно поэтому на почве российской геологии создавались большие и влиятельные школы мобилистов, а потом и плейттектонистов, представленные многими отечественными учеными. К сожалению, потребовалось не так много времени для возникновения отчетливо выраженной и достаточно сильной цензуры плейттектонистов, не только не допускающей к публикации отличные от их парадигм интерпретации, но и отсекающей первичный фактографический матери-

ал. Такого прессинга, замалчивания и запретительства они сами на себе никогда не испытывали. Их нетерпимость к инакомыслию вряд ли объясняется сомнениями или предчувствием тупика (многие пока еще искренно верят в механистические модели). Скорее всего, дело именно в глубокой вере, к которой они искренно хотят приобщить «язычников» любыми способами, включая современные варианты «крестовых походов». Однако достаточно хорошо известно, что идеологический фанатизм ничего хорошего человечеству не приносил. Инакомыслие в лучшем случае расценивается как чудачество [12], не заслуживающее внимания научной прессы. Тотализация научного мира под одну идею в геотектонике — признак не благополучия, а беды, и уж никак не свидетельствует о высоком уровне науки. Это, несомненно, признак гносеологического застоя.

Автору данной статьи в 1970—1971 гг. довелось быть причастным к развитию мобилистских идей в Австралийском национальном университете. Вначале привлекали новизна, оригинальность, видимая обоснованность и какая-то краснота интерпретации полосовых магнитных аномалий, новообразования океанов, спрединга и особенно субдукции. А красота идеи, по А.Эйнштейну, — критерий их истинности. С первого взгляда подкупала и простота базовой идеи — в срединно-океанических хребтах постоянно, в течение многих миллионов лет, образуются все новые порции океанической коры, которые непрерывным конвейером уходят на тысячи километров по латерали, чтобы снова погрузиться в мантию в зонах субдукции. Однако простота и краснота одновременно и смущали, а историко-геологическая «испорченность» автора не позволяла отодаться такой гипотезе полностью и всерьез. Отрицательные реакции австралийского геофизика В.А.Анфилова и профессора У.Керри (Хобарт) заставили специально обратиться к ключевым геоструктурам Земли: северу Новой Гвинеи, островным дугам к востоку и северо-востоку от Австралии и Новой Гвинеи, а затем — и к Курильской, Алеутской и другим пограничным структурам. Реальный региональный материал никак не укладывался в прокрустово ложе тектоники плит. Нигде, например, не подтверждалась субдукция, включая казалось бы бесспорную в этом отношении восточную окраину Азии. Геологическая история окраинных морей — Берингова, Охотского, Японского, Желтого, Южно-Китайского, Филиппинского, Новогвинейского и Кораллового — опровергает плейттектоническую гипотезу о субдукции и океаническом происхождении как островных дуг, так и окраинных морей. Тафрогенная и, частично, континентально-рифтовая природа последних становится все очевиднее, что Е.Е.Милановский и А.М.Никишин [2] позднее объяснили длительным подъемом магматических мантийных диапиров — виновников деструкции континентальной коры во всей меридиональной Восточно-Азиатской окраинной зоне. Повторное изучение Урала, Кавказа и Крыма также привело к выводам, противоположным плейттектоническим интерпретациям их геологической истории: никакой предшествующий им океан, как и субдукция не подтверждаются фактами, полученными при полном нормальном историко-геологическом их изучении. Глубоководные морские котловины Черного моря и Южного Каспия, как и большая часть котловин Средиземного моря — новообразования в основном поздней-

нозойского возраста, а не реликты мифического океана Тетис: здесь продолжают процесс базификации низов коры и тафрогенез [6—9], свидетельствующие не только и не столько о рифтинговом раздвиге, сколько о быстрых погружениях участков коры, своего рода провалах (в масштабе геологического времени).

Учение о полезных ископаемых в России в целом устояло перед плейттектонической модой, хотя попытки привлечь идеи миграции плит и субдукции для объяснения размещения тех или иных месторождений было немало. Какие-либо прикладные успехи таких подходов автору не известны. Да они и маловероятны. Для отечественных металлогенических школ (Ю.А.Билибин, В.И.Смирнов, С.С.Смирнов, Е.А.Радкевич, А.Д.Шеглов и др.) характерен широкий историко-геологический подход, который приводит к установлению длительной, в сотни миллионов лет, унаследованности металлогенической специализации основных рудоносных поясов Земли — Тихоокеанского, Уральского, Центрально-Азиатского и др. Высокий мировой уровень Российской металлогенической науки общеизвестен, как и ее плодотворное влияние на многие зарубежные школы, особенно Европы и Азии. В СССР она в опережающем темпе разрабатывала теорию и методы поисков и разведки всех видов полезных ископаемых, создавая для них научную основу. Параллельно, по мере накопления фактов вызревали и металлогенические теории, базирующиеся на практике геологоразведочных работ. Именно поэтому в СССР была создана уникальная минерально-сырьевая база. Геотектоническим абстракционистам, вероятно, неизвестно, что Россия обладает 30 % мирового минерально-сырьевого потенциала при доле населения в 3,5 % мирового. И это было создано главным образом в периоды, которые в настоящее время кое-кем определяются минимум как консервативные или идейно-архаичные для геологии.

Успехи отечественной металлогении по методу обратной связи оплодотворили тектонику и другие науки и углубили наши знания истории земной коры и планеты в целом.

Распад СССР, экономические кризисы и ослабление интернациональных связей негативно сказываются на отечественной геологии, в первую очередь, на конкретных полевых исследованиях. Современные обобщения доказывают большую углубленность прежнего геологического древа, все еще питающегося прошлыми накоплениями.

Проведенный краткий анализ представляется достаточным для уверенного вывода о высоком научном уровне отечественной геологии, не только не уступающем уровню любой другой страны, но часто превосходящем его. Российская геология никогда не была изолирована от мировой, в ней были свобода мнений и открытость для всего нового, которое она воспринимала критически, так как выработала надежные критерии для оценки гипотез, моделей, теорий и методов. Основа этих критериев — последовательный историко-геологический подход, являющийся сложной системой, объединяющей фактичность, объективность, восхождение по пути обобщений с историзмом, эволюционизмом, признанием катастрофических событий и общей неравномерности геологических процессов. Такую систему и основанную на ней науку трудно расшатать и внедрить в нее легковесные гипотезы и модели, особенно упрощенные механистические. Глубокая ошибка — при-

нимать этот здоровый консерватизм за архаизм и отсталость. Наоборот, это знак зрелости науки и высокого ее уровня, возможно, самого высокого в мире на сегодняшний день. Прошедшее десятилетие перекрыло многие потоки новых фактов, что может сказаться (и уже сказывается) на добротности выводов и разумности обобщений, замещаемых интенсификацией легковесных абстрактных «теорий». Но пока ядро отечественной геологии, базируясь на объективной картографии, с разумной сдержанностью относится к односторонним гипотезам, включая и «тектонику плит».

Последняя неоднократно подвергалась взвешенной и обоснованной критике [1, 10, 11]. Обобщая и развивая основные положения упомянутых и других работ, важно обратить внимание на следующее. Тектоника плит (ТП) базируется преимущественно на геофизических данных, которые должны проверяться геологическими материалами и методами, что либо вообще не делается, либо делается «под идею».

ТП не вытекает из геологических материалов и в большинстве случаев им не отвечает (островные дуги, окраинные и другие тафрогенные моря, масштабы спрединга).

ТП вытекает из геологической истории регионов и опровергается ею (восточная окраина Азии, западная половина Тихого океана, Урал, Кавказ, Крым и т.д.).

ТП неисторична, если не считать выдуманную, формальную, механистическую историю.

ТП чрезмерно механистична (допускает механическое перемещение плит и континентов на многие тысячи километров на протяжении сотен миллионов лет), что противоречит природе Земли, данным глубинной сейсмической томографии и истории литосферы — последние варианты ТП эклектичны (неорганическое сочетание больших горизонтальных перемещений с элементами «плюм-тектоники», целостности плит с внутриплитной тектоникой и магматизмом и с трансформными разломами и т.д.).

ТП практически бесплодна, так как не может быть основой прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых.

Органические методологические пороки ТП (неисторизм, механизм упрощенчества), давно отмечавшиеся такими общепринятыми лидерами отечественной геологии, как Ю.А.Косыгин и В.И.Смирнов, усугубляются гносеологическими: ТП объявляется доказанной теорией, даже новой парадигмой — геологу остается только ее руководствоваться, подгонять факты под эту бесспорную теорию, а если они сопротивляются, тем для них хуже. Приверженцев ТП отличает недопустимый в науке догматизм, за чем следует нетерпимость к инакомыслию, насилие, запретительство, научная цензура.

Высокий научный уровень отечественной геологии, позволивший ей устоять под мощным напором плейттектонической волны и моды, основан на планомерной государственной геологической съемке — комплексном методе объективного, непредвзятого изучения регионов и всей территории СССР. Уникальный опыт, приобретенный в геолого-съемочных работах, позволил ведущим российским геологам-тектонистам составить региональные и глобальные тектонические карты и стать во главе ряда международных комиссий по тектоническим картам (Н.С.Шатский, А.А.Богданов, В.Е.Хаин, Ю.Г.Леонov). Возобновляемая после короткой паузы геологическая съемка дает надежду, что отечественная геология, учитывающая все прежние и новые идеи,

методы и достижения, не потеряет лидирующих позиций. Она должна остаться открытой для потоков геологической информации, идущих как с Запада, так и с Востока и Юга и, в свою очередь, мы должны активнее продвигать наши идеи, подходы и результаты исследований в мировую науку. В преддверии 300-летия отечественной геологической службы — во имя ее чести и достоинства — эти задачи представляются более чем актуальными.

Автор благодарен Т.И.Фроловой, Д.П.Найдину, О.А.Мазаровичу и особенно А.И.Кривцову за добрые замечания, советы и смягченную редакцию исходных формулировок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазарович О.А., Найдин Д.П., Цейслер В.М. Палеомагнитные и историко-геологические реконструкции: проблемы и нерешенные вопросы // Бюл. МОИП. Отд. геол. Ст. 1. 1988. Т. 63. Вып. 6. С. 130—142. Ст. 2. 1989. Т. 64. Вып. 2. С. 125—146. Ст. 3. 1990. Т. 65. Вып. 1. С. 103—110. Ст. 4. 1991. Т. 66. Вып. 6. С. 102—127.
2. Милановский Е.Е., Никишин А.М. Западно-Тихоокеанский рифтовый пояс // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1988. Т. 63. Вып. 4. С. 3—15.
3. Соколов Б.С. Вернется ли «золотой век» геологии? // Вестн. Рос. Акад. наук. 1995. Т. 65, 19. С. 778—781.
4. Фролов В.Т. Тождественны ли океанские и геосинклинальные формации // Формации осадочных бассейнов. М., 1986. С. 37—44.
5. Фролов В.Т. Литология. Кн. 3. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. Гл. 16. Принципы и методы историко-геологических исследований. С. 62—109. Гл. 20. Формации и формационный анализ. С. 285—342 и 350.
6. Фролов В.Т. Мезозойские и кайнозойские формации Крыма (генетический анализ) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1988. Т. 73. Вып. 5. С. 39—48.
7. Фролов В.Т. О модных интерпретациях геологической истории Крыма // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1998. Т. 73. Вып. 6. С. 13—20.
8. Фролова Т.И. Магматизм подвижных поясов и океанов. Сравнение и выводы // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1996. Т. 71. Вып. 4. С. 4—19.
9. Фролова Т.И. Магматизм и происхождение тафrogenных впадин // Проблемы эволюции тектоносферы. М., 1997. С. 298—317.
10. Шолло В.Н. Поиск альтернативы. О книге «Наша развивающаяся планета. История Земли в новой перспективе». К.М.Сторетведт. Берген. Норвегия, 199. 456 с. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1998. Вып. 6. С. 61—65.
11. Frolov V.N. Geological history of Russian Far East — an alternative for extreme mobilism // Proc. Int. Symposium on new concepts in Global tectonics. Tsukuba, Japan. 1998. P. 335—337.
12. Stortvedt K.M. Our Evolving Planet History in New Perspective. Alma Mater Forlag. Bergen, Norway. 456 p.
13. Science. Vol. 264. 24 w 1994. P. 1277—1279 and 1280—1281.

УДК 551.24

© М.А.Гончаров, 1999

От тектоники литосферных плит — к геодинамике иерархически соподчиненных геосфер

М.А.ГОНЧАРОВ (МГУ им. М.В.Ломоносова)

Постановка проблемы. В гипотезе дрейфа континентов А.Вегенера [2] континентальные монолиты, представленные «гранитным» слоем, перемещались по неподвижному «базальтовому» слою, подстилающему как континенты, так и океаны. Тектоника литосферных плит «нарастила» движущиеся монолиты как вглубь (до подошвы литосферы), так и по латерали, присоединив к континентальной литосфере океанскую литосферу.

Однако в настоящее время само понятие «литосферная плита» подвергается серьезному испытанию. У континентов обнаружилось «корни» глубиной около 400 км, которые при дрейфе континентов, несомненно, должны перемещаться вместе с последними. Тем самым плиты уже не могут считаться «литосферными», поскольку в них должна включаться подлитосферная мантия. Более того, это уже не «плиты», а тела более сложной конфигурации, напоминающие «перевернутые шляпы», мощность которых в океанической части на порядок меньше, чем под континентами. И возникает сомнение в состоятельности таких обсуждаемых в литературе версий движущей силы дрейфа плит, как «расталкивание» в зонах спрединга и «затягивание» в зонах субдукции: слишком тонка для этого океаническая часть плиты. Но если приложение сил сбоку исключается, то остается лишь один возможный вариант — касательное усилие на подошве «плиты» в ее наиболее толстой, континентальной части, возбуждаемое конвекцией в подстилающей мантии. Такая конвекция не может происходить лишь в верхней мантии, поскольку в этом случае конвектирующий слой, ограниченный сверху подошвой континентов (границей 420 км) и снизу подошвой верхней мантии (670 км), имел бы мощность всего примерно 250 км при значительно большем горизонтальном размере континентов.

Такие сильно удлиненные по горизонтали конвективные ячейки энергетически невыгодны [5]. Поэтому конвекция, ответственная за дрейф континентов, должна охватывать всю мантию.

Из приведенного весьма краткого обзора эволюции взглядов на причины дрейфа континентов трудно видеть постепенное «углубление» подошвы активной геосферы — от континентальной части верхней коры в гипотезе А.Вегенера к тектоносфере (астеносфера+литосфера) в тектонике плит и далее ко всей мантии в целом. Однако при таком подходе остается неизменным признание единственности активной геосферы и квалификация происходящей в ней конвекции как одноярусного процесса одного ранга. Являясь причиной дрейфа континентов, такая конвекция не может быть одновременно причиной формирования всего спектра разноранговых тектонических структур.

На пути к поиску такой причины В.Е.Хаин выступил с идеей об относительно автономной конвекции в отдельных геосферах, которую он развивал и в своих последующих работах [24]. О чередовании периодов одноярусной конвекции во всей мантии и двухъярусной конвекции раздельно в нижней и верхней мантии высказывались многие другие исследователи. Например, можно указать на новую фундаментальную монографию Н.Л.Добрецова и А.Г.Кирдяшкина [8] и одну из последних публикаций Л.И.Лобковского [12].

Однако и при таком «многоярусном» подходе к процессу конвекции, этот процесс по-прежнему представляется как однородный и поэтому не может рассматриваться как причина формирования всего иерархического спектра тектонических структур разного ранга. Следующий шаг — попытка создания концепции разноранговой конвекции с ха-

рактерной ситуацией: «несколько ячеек высшего ранга *внутри* ячейки низшего ранга».

Компенсационная, многоярусная и иерархическая геодинамика. Суть концепции, обозначенной в заглавии раздела и опубликованной нами в 1997 г. [5], сводится к тому, что организация геодинамических систем (ГС, процесса) и структурных систем (результата этого процесса) определяется тремя ведущими факторами.

1 фактор — непрерывность геологической среды, которая неизбежно приводит к *компенсационной организации тектонического течения* (КОТТ), независимо от причины ТТ [4]: восходящие тектонические движения компенсируются нисходящими, вертикальные — горизонтальными, глубинные горизонтальные — поверхностными (включая формирование шарьяжей под земной поверхностью и сочетание денудации с осадконакоплением над ней), сжатие — растяжением. Эта компенсация происходит в объеме, который можно назвать ячейкой КОТТ. Некоторая геосфера, охваченная ТТ, разделяется на ячейки с противоположным направлением вращения среды в смежных ячейках, наподобие смежных шестерен в часовом механизме. Кинематическая схема КОТТ есть не что иное, как картина *конвекции* в такой геосфере.

2 фактор — плотностная и (или) реологическая расслоенность Земли на различные геосферы. Каждая из них может быть охвачена *собственной* КОТТ [24], т.е. состоять из собственной серии ячеек. В частности, ячейки двух смежных геосфер могут иметь одинаковый горизонтальный размер, поэтому восходящий тектонический поток в верхней геосфере будет соответствовать нисходящему потоку в нижней, и наоборот. Характерный пример такой двухъярусной КОТТ — формирование горных поднятий (впадин) и их корней (антикорней); подробнее об этом будет сказано ниже.

3 фактор — иерархия земных геосфер, которая ведет к *иерархии ячеек КОТТ*. Два восходящих суперпотока (один под южной частью Тихого океана, другой под Африкой) и один нисходящий суперпоток (под Азией) составляют доминирующую картину КОТТ 1-го ранга *в мантии в целом*; эта КОТТ получила название плюм-тектоники [28]. 2-й ранг КОТТ — *в верхней мантии* — несет ответственность за тектонику литосферных плит [28]; ячейкой КОТТ здесь является литосферная плита в сочетании с зонами спрединга и субдукции (коллизии). КОТТ 3-го ранга — *в тектоносфере* (астеносфера + литосфера) — формирует мегантиклинории и впадины; в качестве ячейки КОТТ выступает область между смежными осями таких структур [26]. КОТТ 4-го ранга — *в геосинклинальном осадочном чехле* — ответственна за формирование анти- и синклинорий [3] и т.д. вплоть до мелких складок.

Структурные ансамбли различного ранга — это результат интерференции разноранговой КОТТ. Иерархическое сочетание КОТТ четырех рангов (масштаба зоны коллизии, мегантиклинорий, антиклинорий и отдельных складок), по-видимому, является главной причиной морфологической неоднородности складчатости.

Изложенная концепция — сугубо кинематическая, без каких-либо заключений о *движущих силах и причинах*. Как нам теперь представляется, ее «иерархический» раздел имеет существенный недостаток, ибо предполагает охват геодинамической системой (ГС) некоторого ранга всей рассматриваемой гео-

сферы того же ранга. В частности, это касается тектоники литосферных плит — ГС 2-го ранга (ГС-2), якобы охватывающей всю верхнюю мантию в целом [28].

Ниже изложена попытка преодоления этого недостатка путем постепенной локализации ГС по мере перехода от одного ранга к другому. Речь пойдет о том, что ГС более высокого (менее масштабного) ранга функционирует не во всей геосфере того же ранга, а только в «благоприятных» для нее сегментах этой геосферы, обусловленных функционированием ГС более низкого (более масштабного) ранга. Краткое изложение содержится в работе [7].

Глобальная геодинамическая система 1-го ранга (ГС-1) во всей мантии (геосфере 1-го ранга). Созидание и распад Пангей. Конвекция, ответственная за *дрейф континентов* и упомянутая выше, может быть квалифицирована как глобальная геодинамическая система 1-го ранга (ГС-1) [5], функционирующая в геосфере того же ранга — *всей мантии в целом*. Эта система, основное назначение которой состоит в выведении глубинного тепла к поверхности Земли, периодически объединяет континенты в суперконтиненты (Пангеи) и дезинтегрирует последние, когда под ними накапливается избыточное тепло, как показало компьютерное моделирование В.П.Трубицына и его коллег [21, 22]. Эти исследователи справедливо указывают на то, что именно континенты являются регуляторами глобальных геодинамических процессов в Земле [20]. В этой работе сформулирована новая концепция глобальных геодинамических процессов — тектоника плавающих континентов и океанских литосферных плит: первая объясняет процессы под континентами, а вторая процессы под океанами. Эти авторы впервые представили численную модель мантийной конвекции в сферической трехмерной мантии со свободно плавающими континентами [22]. В качестве первого приближения они предложили модель абсолютно твердых континентов, взаимодействующих с мантией. Благодаря зависимости вязкости мантии от температуры и давления, маловязкая астеносфера и высоковязкая океанская и континентальная литосферы в их модели не задаются заранее, а возникают самосогласованно. Как считают эти авторы, такой подход — это следующий важный этап в развитии концепции о строении и процессах в Земле. По их мнению, тектоника литосферных плит объяснила природу только океанской литосферы, рассматривая континенты лишь как пассивно дрейфующие неоднородности, «вмороженные» в океанские литосферные плиты. Так как океанские плиты существуют не более 200 млн. лет, то тектоника плит в принципе не может объяснить глобальные геологические процессы длительностью миллиарды лет, в частности, причину образования и распада суперконтинентов. Очевидно, что без континентов не могла бы возникнуть и континентальная литосфера, возраст которой значительно превышает таковой океанских плит. Свойства и эволюция континентальной литосферы должны определяться долгоживущими движущимися континентами [20].

В настоящее время, согласно концепции японских исследователей [28], ГС-1 включает два «горячих» суперплюма. Один расположен под Африкой, он контролирует Индо-Атлантический сегмент Земли. Другой находится под Южной Пацификой и контролирует Тихоокеанский сегмент, мантия которого более «разогрета». Из-за этой или других причин,

континенты не могут «вторгнуться» глубоко в пределы Тихоокеанского сегмента, хотя, по данным их современной кинематики, такая «попытка» существует. Согласно современным представлениям [15], в венде начался распад суперконтинента Родиния, тяготевшего к южному полушарию. В настоящее время эта глобальная асимметрия сохраняется, только будущая Пангея тяготеет к северному полушарию. Смена южного дрейфа континентов на северный в течение геологической истории Земли и ее возможная причина обсуждаются в работе [27].

Субглобальная геодинамическая система 2-го ранга (ГС-2) в океанской части верхней мантии (геосфере 2-го ранга). Субглобальная геодинамическая система 2-го ранга (ГС-2) функционирует лишь в геосфере того же ранга — *верхней мантии* — и *только под океанами*, как бы заполняя пространство не только между континентами, но и между их движущимися корнями. Т.е. она «подстраивается» под ГС-1, «помогая» последней в выведении глубинного тепла к поверхности Земли. ГС-2 ответственна за процессы спрединга и субдукции. По данным сейсмической томографии, в зонах спрединга верхняя мантия неоднородна по латерали лишь до глубин около 300 км [14], а в зонах субдукции «холодные» участки также обычно не выходят за пределы верхней мантии [28].

Спрединг. Начнем со спрединга и новообразования океанской коры. Когда континенты раздвигаются (*индо-атлантическая ситуация*), то между ними образуется «брешь», заполняемая новообразованной океанской корой и ограниченная пассивными континентальными окраинами. При этом скорость спрединга в ГС-2 может превышать скорость раздвижения континентов в ГС-1; в этом случае происходит «боковая релаксация» спрединга (термин Ю.М. Пушаровского), когда избыток океанской коры *компенсируется* сжатием в виде шарьяжных пластин на склонах срединно-океанских хребтов, формированием периокеанических впадин и другими деформациями.

Континенты могут формировать зародыш будущей Пангеи (*арктическая ситуация*) и быть малоподвижными в этом регионе. В этом случае ГС-1 почти не влияет на ГС-2, и спрединг происходит довольно вяло. Он *компенсируется* сжатием и региональным априфтом на материковых окраинах Арктического океана [16].

Таким образом, в обоих случаях — раздвигающихся или малоподвижных континентов — *компенсация* спрединга (горизонтальное сокращение) выражается не в формировании глубоководного желоба и зоны Беньофа, а посредством других деформаций.

При *сочетании раздвига со сдвигом*, ГС-2 формирует саму зону спрединга, а ГС-1 стимулирует *косую* ориентировку рифтовых долин и трансформных разломов в этой зоне. Пример — правосдвиговая ориентировка рифтовых долин в Калифорнийском заливе, который как бы продолжает к югу правосдвиговой разлом Сан-Андреас.

Субдукция. При сближении континентов (*тихоокеанская ситуация*) часть океанской коры вынуждена погружаться под континент. В компьютерной модели [19] воспроизведена ситуация на окраинах Тихого океана, где возникают зоны субдукции с почти вертикальным погружением (типа Курило-Камчатской) на одной окраине и очень пологим погружением (типа Южно-Американской) на другой окраине океана.

При сближении континентов может быть погло-

щена и зона спрединга, что лишний раз подчеркивает *субординированность* систем ГС-1 и ГС-2. Поэтому субдукция, компенсирующая спрединг, также является результатом функционирования ГС-2. В этом отношении весьма характерна западная окраина обеих Америк. Во-первых, параллельно окраине Южной Америки протягивается Восточно-Тихоокеанская зона спрединга (ГС-2). И именно на этой окраине развита зона субдукции в виде глубоководного желоба и зоны Беньофа. Во-вторых, вдоль окраины обеих Америк протягивается горная цепь Кордильер — Анд, которую еще А.Вегенер [2] считал результатом западного дрейфа обеих Америк, т.е. результатом функционирования ГС-1. Южноамериканский сегмент окраины — это следствие *интерференции* систем двух рангов, а североамериканский сегмент (окраина «колумбийского» типа, термин В.В.Белоусова [1]) подвергся «в чистом виде» надвиганию континентальной литосферы на океанскую, вплоть до перекрытия северного продолжения Восточно-Тихоокеанской зоны спрединга. Вероятно, нечто подобное происходило на окраинах Пангеи во время их распада и надвигания континентов на Панталассу. Думается, что такие конвергентные границы заслуживают выделения их в особый геодинамический тип. Другими словами, *пододвигание* океанской литосферы под континент (субдукция) и *надвигание* континента на океанскую литосферу — не идентичные процессы, как это иногда подразумевается. Отличие пододвигания от надвигания выявлено нами при физическом моделировании процесса формирования шарьяжей [23].

Надрегиональная геодинамическая система 3-го ранга (ГС-3) в «горячих» зонах геосферы 3-го ранга — тектоносферы (астеносфера+литосфера). **Двухъярусная конвекция.** Если субглобальная ГС-2, включающая спрединг и субдукцию, функционирует только между континентами и только в верхней мантии, то в еще более локальных зонах — *зонах повышенного теплового потока* — действует *надрегиональная система следующего, 3-го ранга (ГС-3)*. К таким зонам, как недавно и весьма обстоятельно показал Л.Э.Левин [10], относятся не только зоны спрединга и зоны субдукции, что было известно и ранее, но и зоны коллизии. В зонах повышенного теплового потока сильно снижается контраст вязкости между астеносферой и литосферой. А существующая между этими геосферами инверсия плотности порядка $0,1 \text{ г/см}^3$ возбуждает конвекцию в *геосфере 3-го ранга — тектоносфере*, включающей астеносферу и литосферу [5, 26].

Изометричный вариант. К ГС-3 можно отнести изометричные системы мантийных диапиров под окраинными и внутренними морями. Как показывают наши эксперименты [3], эти диапиры окружены дугообразными асимметричными компенсационными прогибами, напоминающими зоны субдукции. Это обстоятельство позволяет понять, каким образом погружающаяся океанская литосфера (ГС-2) порождает многочисленные, более скромные по своему масштабу и в то же время дугообразные в плане зоны Беньофа, относящиеся уже к ГС-3.

Линейный вариант. К структурным ансамблям 3-го ранга можно также отнести линейные в плане системы поднятий (с корнями) и впадин (с антикорнями), продольные в зонах коллизии (орогенных поясах) и поперечные в зонах спрединга (срединно-океанских хребтах, которые по своим масштабам могут быть названы «талассоорогенными поясами»).

[6]. По данным спутниковой альтиметрии, срединные хребты выглядят ныне на топографических схемах океанского дна как системы *поперечных* поднятий-хребтов и впадин-долин. На этом общем фоне рифтовые долины имеют вид второстепенных нарушений, осложняющих поднятия-хребты, а трансформные разломы оказываются приуроченными к впадинам-долинам. Под поднятиями обнаружены корни, а под впадинами — антикорни, по Ю.Н.Разницину [18]. В этой работе он также приводит данные о признаках растяжения под впадинами и компенсирующего сжатия и скучивания шарьяжных пластин под поднятиями. Эти факты можно объяснить следующим образом. Как показал теоретически и экспериментально А.Г.Кирдяшкин [9], на фоне *продольной* (по отношению к направлению спрединга) конвекции в *верхней мантии*, ответственной за сам процесс спрединга (ГС-2), функционирует поперечная валиковая конвекция в *тектоносфере* (ГС-3). Для объяснения поперечных корней и антикорней мы добавили к этой схеме представление о *двухъярусной* поперечной валиковой конвекции в тектоносфере [5, 6].

Если теперь обратиться к *продольным* системам поднятий и впадин в зонах коллизии, то встает законный вопрос — а почему их формирование нельзя объяснить аналогичным образом? С тем чтобы снять проблему *утонения* коры и литосферы под впадинами в обстановке *коллизии*. Такую идею о двухъярусной конвекции недавно высказали А.В.Чекунов [25] применительно к новейшему тектогенезу Юго-Восточной Европы и М.Г.Леонов [11] в связи с анализом альпийской геодинамики Южного Тянь-Шаня. Более конкретная схема двухъярусной конвекции разработана нами для новейшей геодинамики Большого Кавказа [26].

Таким образом, линейные в плане системы поднятий и впадин, хотя и приуроченные к различным по своей геодинамике границам — дивергентным и конвергентным, имеют в своем строении много общего и поэтому могут быть результатом *единого* процесса двухъярусной конвекции в тектоносфере. Коллизия или спрединг не являются *непосредственной* причиной формирования систем линейных поднятий и впадин, но они «катализируют» и синхронизируют процесс двухъярусной конвекции в субглобальном масштабе, а также определяют продольную или поперечную ориентировку этих систем. Это кардинальное различие в ориентировке влечет за собой и другие отличия, в первую очередь отсутствие или наличие рифтовых долин, ортогонально рассекающих эти поднятия, и трансформных разломов, приуроченных ко впадинам.

Трансформные разломы, будучи сдвигами, ориентированы, вопреки канонам тектонофизики, в направлении максимального растяжения. Эксперименты, проведенные разными авторами, показывают, что при горизонтальном растяжении трещины отрыва возникают и располагаются кулисообразно (подобно рифтовым долинам в срединных хребтах), но при продолжении растяжения их концы соединяются лишь посредством «нетрансформного сочленения». Для формирования же трансформных разломов среда должна быть предварительно *структурирована*. Однако трансформные разломы далеко не всегда наследуют более древние неоднородности (пример — молодые разломы Восточно-Тихоокеанского поднятия с северо-западным простиранием на фоне более древних субширотных «разломов-гигантов»).

Поэтому для их формирования требуются новообразованные неоднородности. Но именно это и происходит с литосферой в процессе упомянутой выше валиковой поперечной конвекции. В процессе растяжения, ориентированного вдоль валов (т.е. в направлении спрединга), возникают кулисообразно расположенные рифтовые долины. В процессе дальнейшего растяжения они соединяются посредством трансформных разломов, приуроченных к наиболее тонким поперечным полосам литосферы. Нами начато физическое моделирование этого процесса; первые результаты как будто бы подтверждают эту схему формирования трансформных разломов.

Региональная геодинамическая система 4-го ранга (ГС-4). Термофлюидная конвекция в геосинклинальном осадочном чехле. Для полноты картины укажем на *геодинамическую систему 4-го ранга* — термофлюидную конвекцию в *геосинклинальном осадочном чехле*, ответственную как за формирование анти- и синклиналий и осложняющей их складчатости, так и за сопровождающие их процессы регионального метаморфизма и магматизма. Физическую и геологическую реальность такой конвекции мы показали ранее [3]. В частности, впервые в мировой практике физического моделирования, посредством подогрева снизу модельных тонкослоистых образцов, удалось воспроизвести вышеупомянутую складчатую структуру [13].

В заключение отметим следующее. Совокупность разномасштабных структурных ансамблей литосферы (от континентов до мелких складок) — это результат *интерференции* конвективных ГС *разного* ранга. В качестве одного из крайних членов этого иерархического ряда можно привести так называемые «межслойные складки» [5]. Общий для всей толщи кливаж — это результат функционирования геодинамической системы *n*-го ранга, а сами складки — это конвективные ячейки (*n*+1)-го ранга.

Все вышесказанное представляет собой конкретизацию авторской концепции компенсационной, многоярусной и иерархической геодинамики [5], о которой шла речь выше, с акцентом на определяющую роль ГС-1 и обусловленного ею дрейфа континентов [20]. Однако эту определяющую роль вряд ли следует понимать детерминированно. Скорее, ее надо рассматривать в аспекте нелинейной геодинамики, к чему постоянно призывает Ю.М.Пушаровский [17] и подтверждение чего содержится в результатах компьютерного моделирования [21, 22].

Исследование выполнено в соответствии с программой «Университеты России» и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 98-05-64868).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.В. Переходные зоны между континентами и океанами. — М.: Недра, 1982.
2. Вегенер А. Происхождение континентов и океанов. — Л.: Наука, 1984.
3. Гончаров М.А. Механизм геосинклинального складкообразования. — М.: Недра, 1988.
4. Гончаров М.А. Компенсационная организация тектонического течения и структурные парагенезы // Геотектоника. 1993. № 4. С. 19—29.
5. Гончаров М.А. Компенсационная, многоярусная и иерархическая геодинамика: сочетание фиксизма и мобилизма // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол. 1997. Т. 72. Вып. 6. С. 13—21.
6. Гончаров М.А. Системы поперечных (в зонах спрединга) и продольных (в зонах коллизии) поднятий и впадин как результат двухъярусной конвекции в тектоносфере // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты. Т. 1. М., 1998. С. 145—147.
7. Гончаров М.А. От тектоники литосферных плит — снова к

- тектонике Вегенера? // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Т. I. М., 1999. С. 208—211.
8. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. — Новосибирск: Наука, 1994.
 9. Кирдяшкин А.Г. Тепловые гравитационные течения и теплообмен в астеносфере. — Новосибирск: Наука, 1989.
 10. Левин Л.Э. Литосфера Земли: типы, мощность и динамика на основе данных о глобальном распределении теплового потока // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты. Т. I. М., 1998. С. 296—299.
 11. Леонов М.Г. Геодинамические режимы Южного Тянь-Шаня в фанерозое // Геотектоника. 1996. № 3. С. 36—53.
 12. Лобковский Л.И. Двухъярусная термохимическая конвекция в мантии и ее следствия, касающиеся строения, эволюции и геодинамики Земли // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Т. I. М., 1999. С. 374—377.
 13. Методы моделирования в структурной геологии / В.В. Белоусов, А.В. Вихерт, М.А. Гончаров и др. — М.: Недра, 1988.
 14. Мирлин Е.Г. Порядок и хаос в аккреции океанской литосферы // Нелинейная геодинамика. М., 1994. С. 5—20.
 15. Моссаковский А.А., Пушаровский Ю.М., Руженцев С.В. Крупнейшая структурная асимметрия Земли // Геотектоника. 1998. № 5. С. 3—18.
 16. Мусатов Е.Е. Рубежи тектоно-магматической активизации в позднемезозойской-кайнозойской эволюции Арктики // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Т. II. М., 1999. С. 26—29.
 17. Пушаровский Ю.М. Геологическое выражение нелинейных геодинамических процессов // Геотектоника. 1998. № 1. С. 3—14.
 18. Разломные зоны Центральной Атлантики / Ю.М. Пушаровский, А.А. Пейве, Ю.Н. Разницын, Е.С. Базилевская. — М.: ГЕОС, 1995.
 19. Трубицын В.П., Рыков В.В. Механизм формирования наклонных зон субдукции // Физика Земли. 1997. № 6. С. 1—12.
 20. Трубицын В.П., Рыков В.В. Глобальная тектоника плавающих континентов и океанических литосферных плит // Докл. РАН. 1998. Т. 359. № 1. С. 109—111.
 21. Трубицын В.П., Рыков В.В. Самосогласованная 2-D модель мантийной конвекции с плавающим континентом // Российский журнал наук о Земле (электронная версия), Russian Journal of Earth's Sciences (electronic). 1998. Т. 1. N 1. <http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rje98001/rje98001.htm>.
 22. Трубицын В.П., Рыков В.В. Трехмерные сферические модели мантийной конвекции, дрейфа континентов, образования и распада суперконтинентов // Российский журнал наук о Земле (электронная версия), Russian Journal of Earth's Sciences (electronic). 1998. Т. 1. N 2. <http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rje98005/rje98005.htm>.
 23. Фролова Н.С., Гептнер Т.М., Гончаров М.А., Голев М.Б. Взаимодополняющие результаты физического и компьютерного моделирования шарьяжей // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол. 1997. Т. 72. Вып. 6. С. 38—46.
 24. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.
 25. Чекунов А.В. Тектогенез больших глубин // Геотектоника. 1991. № 3. С. 3—15.
 26. Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. — М.: Наука, 1993.
 27. Bozhko N.A., Goncharov M.A. Global balanced arrangement of the geodynamic polarity of Earth's Southern and Northern hemispheres // L.P. Zonenshain Confer. on Plate Tectonics. Kiel (Germany), 1993. P. 43—44.
 28. Journal of the Geological Society of Japan. 1994. Vol. 100. No. 1.

Металлогения и минералогия

УДК 553.41

© Н.А. Фогельман, 1999

Основные принципы формационного анализа золотоносных районов и рудных полей в целях прогноза

Н.А. ФОГЕЛЬМАН (ЦИНИГРИ)

Современные прогнозно-металлогенические исследования базируются на формационном анализе рудоносных территорий, который заключается в установлении рудно-формационной принадлежности месторождений, а также в выявлении продуктивных геологических формаций, участвующих в строении рудоносных структурно-формационных комплексов. Цель и результат таких исследований — разработка критериев прогноза не только типов ожидаемых месторождений, но и их возможной продуктивности.

При формационной диагностике золоторудных месторождений используются следующие особенности оруденения: набор устойчивых (повторяющихся на разновозрастных месторождениях данного типа) минеральных парагенезисов, их последовательность и характер их количественных соотношений; текстурные особенности руд и преобладающие морфологические типы рудных тел; характер околорудных изменений; пространственные и временные соотношения с известными в районе золоторудными или другими рудными формациями.

Формационные критерии со значительной долей условности можно подразделить на две тесно взаимосвязанные категории — рудно-формационные и геолого-формационные. Рудно-формационные критерии опираются на сопоставление вещественного состава и геологической позиции изученных, а также вновь открываемых месторождений с теми особенностями оруденения различных золоторудных формаций, которые указывают на принадлежность ору-

денения к тому или иному формационному семейству, характерному для определенной тектоно-магматической обстановки. Как известно, общепринятые наименования золоторудных формаций (золото-кварцевая, золото-сульфидная, золото-сульфидно-кварцевая и др.) как по номенклатуре, так и по смыслу в большинстве соответствуют лишь обобщенным минеральным типам, каждый из которых может проявиться как в виде крупных, так и мелких месторождений в самой различной геологической обстановке, соответствующей типам и этапам развития подвижных зон. В каждой из этих обстановок действуют свои геолого-генетические модели рудообразования, формирующие месторождения конкретных золоторудных формаций. При наличии наиболее полного набора признаков, типоморфных для абстрактной золоторудной формации, т.е. для того формационного типа (семейства), который характерен для данной обстановки и присущих ей геолого-генетической модели рудообразования, можно с наибольшей вероятностью прогнозировать возможность выявления крупных месторождений. Тот же принцип может быть положен в основу оценки вновь выявляемых объектов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Проявления же оруденения «случайных» для данной обстановки формаций за редким исключением будут представлять месторождения мелкого и среднего масштабов.

Следует подчеркнуть условность отнесения рассматриваемых критериев к собственно рудно-фор-

мационным, поскольку важнейшим фактором, определяющим особенности рудоносных структурно-формационных комплексов золотоносных районов и структурно-вещественных парагенезисов рудных узлов и полей, являются продуктивные на золото геологические формации и структурные условия их становления и локализации. В отличие от многих типов рудных месторождений, связанных с какой либо одной геологической формацией и даже являющихся ее частью, золоторудные месторождения образуются в связи с различными геологическими формациями, одновременно участвующими в строении рудных полей. Эти формации отличаются по тем функциям, которые они несут в той или иной модели рудообразования. По этому принципу продуктивные геологические формации, по А.И.Кривцову [5], подразделяются на: рудовмещающие, выступающие в качестве среды рудоотложения; рудоносные, вмещающие однотипные продукты рудогенеза, и, возможно, являющиеся одним из источников золота; рудогенерирующие, которым приписывается роль источников вещества, а также энергии рудообразования и транспортирующих агентов; рудообразующие, служащие источником энергии при рудообразовании, реализуемом за счет вещества других геологических формаций. Для золота с меньшей степенью обоснованности можно (и нужно) оттенить рудомобилизирующую роль рудообразующих формаций в процессе регенерационного рудообразования в терригенных комплексах, исходно зараженных рассеянной золотоносностью. Кроме того, целесообразно ввести понятие о донорных формациях, к которым относятся рудовмещающие или рудоподстилающие комплексы с высоким кларком золота.

Металлогеническая специализация геологических формаций на золотое оруденение того или иного формационного типа позволяет использовать формационные критерии при региональных прогнозах, направленных на определение общего металлогенического потенциала различных структурно-формационных зон. Не менее важно применение формационных критериев при разбраковке выявляемых при геологических съемках рудопроявлений для выделения среди них объектов, обладающих признаками, характерными для крупных месторождений. Таким объектам, как правило, свойственна связь не с одной, а с двумя или тремя, а иногда и более, геологическими формациями, несущими определенные функции в различных геолого-генетических моделях рудообразования. Такие «внутриформационные» критерии рассматриваются ниже применительно к различным формационным типам золоторудных месторождений.

Для плутоногенно-гидротермальных месторождений эпизеогенно-интрузивных орогенных систем и областей тектоно-магматической активизации, связанных с гранитоидными формациями, наряду с последними большое значение имеет присутствие в составе структурно-вещественных комплексов рудных узлов и полей донорных магматических формаций базит-гипербазитового ряда, что обеспечивает возможность реализации ведущей для данной обстановки ассимиляционной, а также рециклинговой моделей, прогноза крупнейших месторождений. Важный критерий прогноза крупнейших месторождений — высокая степень дифференциации рудогенерирующих гранитоидных формаций, признаки участия в их становлении процессов контаминации и гибридизма, завершение комплексами гипабис-

сальных малых интрузий и «даек второго этапа» контрастного состава. Именно этим критериям полностью соответствуют обстановки формирования таких крупных месторождений полиметалльно-золотого формационного семейства, как Березовское и Дарасунское.

На формирование гигантского мегаштокверка Березовского рудного поля оказали влияние три геологических формации. Рудогенерирующая представлена выступом Шарташского массива позднеорогенной адалмелит-плагитогранитной формации. Рудообразующей формацией является комплекс даек контрастного состава, вмещающих полосовые (лестничные) кварцевые жилы и золотоносные березитовые руды. К донорным формациям можно отнести как рудовмещающие зеленокаменные толщи, так и мощную рудоподстилающую формацию серпентинизированных перидотитов и более поздние интрузии габбро-пироксенитов [2].

Для Дарасунского месторождения донорной формацией послужили рудовмещающие габбро-амфиболиты, площадь распространения которых совпадает с контурами рудного поля. Рудообразующей формацией, с которой оруденение имеет парагенетические связи, для всех месторождений дарасунского типа в Восточном Забайкалье является комплекс гипабиссальных и субвулканических малых интрузий плагитогранит-порфиров. В этой формации выделяется своеобразная рудоносная фация, представленная трубками взрыва в телах малых интрузий. На Дарасунском месторождении вокруг такой трубки устанавливается концентрическая рудная зональность [7].

Важнейшим критерием прогноза месторождений золото-углеродистого семейства, представленных золото-мышьяковисто-сульфидной и золото-мало-сульфидно-кварцевой формациями в терригенных и углеродисто-терригенных «черносланцевых» толщах, является установление в разрезе потенциально рудоносных формаций и фаций. Еще В.А.Обручев впервые в России установил избирательную приуроченность богатейших россыпей Ленского района к тем речным долинам или их отрезкам, которые пересекают площади выходов определенных свит рифейского складчатого комплекса. Впоследствии это ошибочно трактовалось ленинградскими геологами, которые считали, что данные свиты содержат в своем разрезе ископаемые россыпи, послужившие при их перемыве источником питания современных россыпей. В действительности же последние связаны с коренными источниками, представленными многочисленными рассеянными на обширной площади мелкими проявлениями оруденения золото-кварцевой формации. В их формировании главная роль принадлежит элизионно-катагенетической модели регенерационного рудообразования, обеспечившего ремобилизацию хемогенного золота, рассеянного в определенных свитах, которые могут рассматриваться как рудоносные формации. Поскольку единственный крупный объект этого типа в данной провинции — гигантский мегаштокверк месторождения Сухой Лог, важным критерием для прогноза подобных объектов является четкое установление положения в разрезе рифейских отложений той свиты, которая непосредственно вмещает оруденение Сухоложского рудного поля. Ее систематическое прослеживание в сложной складчатой структуре района позволит проводить дальнейшие поиски в

направлении, наиболее перспективном для выявления крупных месторождений.

По аналогии с позицией этого крупного месторождения можно с большей долей вероятности прогнозировать превращение относительно слабо продуктивной зоны прожилково-вкрапленного золото-сульфидного оруденения Боко-Васильевского рудного поля в объект, соизмеримый с Бакырчиком. Обоснование такого прогноза заключается в следующем. Васильевская рудная зона, так же как Кызыловская, приурочена к рудоносной терригенной формации, выполняющей рамповую впадину. Однако этот рамп — односторонний, где зона рудовмещающих дислокаций расположена не в лежащем, а в висячем боку бортового разлома типа взброса, по которому рудоносная свита надвинута на более молодую толщу наземных эффузивов. Соответственно, в отличие от Бакырчика в формировании рудной зоны не участвовал фактор вкрапленности. Вследствие влияния этого фактора и связанного с ним формирования на том же рудном поле зоны повышенной продуктивности есть все основания прогнозировать под надвигом противоположный борт впадины, закрытый современными речными отложениями, от которого начинаются отвалы россыпной золотодобычи.

Важный критерий прогноза крупных концентраций золото-сульфидного оруденения — повышенная фемичность металлогенического фона. Она может проявляться в участии в терригенных толщах граувакковых фаций или вулканитов основного состава, а также в проявлениях базит-гипербазитового магматизма, медно-никелевой и платиновой минерализации. В этом отношении Боко-Васильевское рудное поле также не уступает Бакырчикскому. Это касается как наличия здесь рудообразующей формации малых интрузий и даек контрастного, преимущественно щелочно-основного состава, так и присутствия на рудном поле серпентинитовых протрузий.

Таким образом, для прогноза крупных месторождений золото-углеродистого формационного типа важнейшую роль играют стратиграфо-литологические критерии. В еще большей степени, чем для оруденения золото-кварцевой формации, развитого в провинциях сиалического профиля, стратиграфо-литологический фактор определяет локализацию прожилково-вкрапленного, нередко стратиформного оруденения золото-мышьяковисто-сульфидной формации, развитого в тех районах, где рудоносные терригенные комплексы залегают на фемическом фундаменте. Для этих комплексов характерна существенная роль аргиллит-алевролитовых фаций, развитие напряженной складчатости и специфических микститовых структур течения и будинажа. Эмпирически установленным косвенным признаком повышенной золотоносности является наличие в песчанниковых прослоях фосфоритовых конкреций.

Весьма важный критерий возможности выявления в таких толщах особенно крупных концентраций метасоматического оруденения золото-мышьяковисто-сульфидной формации — установление экранирующего влияния полого залегающих поверхностей межпластового скольжения и надвигов. Такие условия, в частности, создаются в выполненных рудоносными формациями рамповых впадинах, формирующихся в условиях регионального сжатия. Характерный пример богатой рудной зоны в рудоносной черносланцевой формации под экранирующей поверхностью надвига — Кызыловская зона Бакыр-

чикского рудного поля. Значение этой структуры в формировании зоны рудовмещающих дислокаций и оптимальное положение последней для концентрации оруденения усиливаются тем, что надвигание происходило непосредственно по рудоносной черносланцевой пачке рудоносной свиты (в связи с ее высокой пластичностью).

Вулкано-гидротермальные месторождения золото-серебряного семейства формируются в условиях позднеорогенного и рифтогенного режима на заключительных стадиях развития наземного вулканизма. Они представлены близповерхностным оруденением золото-адуляр-кварцевой и золото-кварц-гидрослюдистой (аргиллизитовой) формаций. Рудоносные палеоструктуры, определяющие контуры рудных полей и узлов, представляют собой вулкано-тектонические депрессии и рифтогенные впадины, формирующиеся в обстановке преобладающего растяжения. Для вулканогенных формаций рудоносного интервала, т.е. тех, с которыми предполагается парагенетическая связь оруденения, характерны: субшелочной состав, разнообразие фаций, редкая изменчивость по латерали, переходы от покровных фаций к субвулканическим, развитие автомагматических брекчий неравновесного состава, экструзивных и криптовулканических аппаратов. Встречающиеся в вулканитах ксенолиты, изотопные соотношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и другие признаки указывают на верхнемантийный — нижнекоровый уровень глубинности источников рудного вещества. В сочетании с близповерхностным уровнем рудоотложения и формирования криптовулканических аппаратов это свидетельствует о высокой мобильности, т.е. о существенно газовой природе рудоносных флюидов и участии взрывных процессов в механизме транспортировки, а иногда и отложения рудного вещества, которое осуществляется при соприкосновении (смешении) глубинных флюидов с холодными водами палеоартезианских бассейнов.

В соответствии с вышесказанным, для близповерхностного оруденения золото-серебряного семейства в качестве ведущей принимается взрывно-гидрогенная модель рудообразования, а те особенности геологической обстановки, которые указывают на существование условий для наиболее полной реализации этой модели, рассматриваются как один из главных критериев прогноза крупных месторождений. Одно из таких условий — приуроченность криптовулканических аппаратов и связанного с ними оруденения к локальным поднятиям, осложняющим рудоносные структуры отрицательного знака. Это купольные поднятия внутри вулкано-тектонических депрессий или горст-антиклинальные структуры в рифтогенных грабенах в местах их пересечения трансформными разломами. Именно такую позицию занимает наиболее насыщенный оруденением и проявлениями подземных взрывов центральный блок Балецкого грабена. Поскольку поднятия происходят на фоне погружения, возникает своего рода поршневого механизма засасывания газодонных флюидов в трещинные системы на своде горст-антиклиналей.

Второй показатель возможной концентрации промышленного оруденения в связи с криптовулканической деятельностью — закрытость системы, что в близповерхностных условиях возможно лишь при воздействии фактора экранирования. В горизонтально залегающих толщах континентальных осадков балецкой свиты таким экраном, под которым залегают богатей-

шие рудные зоны тасеевского рудника, является пачка песчаников и конгломератов, пронизанная силлами explosивных брекчий, окварцованных туффизитов и порцелланитовых лав. Эта пачка сформировалась в рудовмещающей толще перед самым началом образования жильных рудных зон, она резко отличалась по физическим свойствам от сравнительно слабо литифицированных пород балеysкой свиты.

Фактором, который можно отнести к феноменам золотой геологии, является то, что связь оруденения золото-серебряной формации с explosивными брекчиями может быть как парагенетической, так и ортогенетической [4]. Особенность этого феномена, осложняющая его использование при разработке поисковых критериев, — трудности диагностики explosивных брекчий и туффизитов, которые, как правило, принимаются за тектонические брекчии и катаклазиты, а при их межпластовом залегании среди осадочных пород — за песчаники и конгломераты. С последним случаем мы сталкиваемся на Куранахском месторождении, где главная пластовая залежь золотоносных кварцево-адуляровых метасоматитов с реликтами обломочной структуры, принимаемая за базальный горизонт конгломератов, в действительности представляет собой межформационный силл брекчий, в цементе которых содержатся промышленные количества золота и серебра.

Помимо рассмотренных выше критериев, основанных на анализе структурно-формационной обстановки и ее благоприятности для оруденения различных формационных типов, основополагающим принципом прогноза особенно крупных концентраций золотого оруденения является установление признаков его полиформационности на ранних стадиях изучения и разведки объектов. В данном аспекте под полиформационностью понимается пространственное совмещение оруденения, принадлежащего различным формационным типам — семействам золоторудных месторождений, т.е. продуктам деятельности различных рудно-энергетических систем, проявляющих себя в закономерно изменяющейся во времени тектоно-магматической обстановке. Совмещение же оруденения золоторудных формаций одного и того же формационного семейства, например золото-мышьяковисто-сульфидной и золото-кварцевой в терригенных комплексах или золото-сульфидно-кварцевой и золото-скарновой, связанных с единой рудогенерирующей магматической формацией, не может служить основой для принципиальной оценки возможных масштабов объекта.

Полиформационность устанавливается на основании выявления на изучаемом месторождении или рудопоявлении специфических признаков, характерных для оруденения той или иной золоторудной формации. Так, для золото-мышьяковисто-сульфидной формации характерно присутствие в рудах высокозолотоносного арсенопирита тонкоиглольчатого габитуса. О проявлении плутоногенного золото-полисульфидно-кварцевого оруденения довольно точно может свидетельствовать появление в исходно простых по составу золото-сульфидных рудах многокомпонентных минеральных ассоциаций, в особенности минералов висмута. Характерные признаки оруденения золото-серебряного формационного типа — халцедоновидный кварц, присутствие в жилах адуляра и адуляр-кварцевые метасоматиты.

Именно по наличию тонкоиглольчатого золотоносного арсенопирита выявляется полиформационность такого крупнейшего объекта, как Куранах, где устанавли-

вается наложение эпитеpмального золото-серебряного оруденения аргиллизитовой формации на более раннюю сульфидную минерализацию в терригенной толще верхней части платформенного чехла.

Второй яркий пример связи крупных концентраций оруденения с его полиформационностью — месторождение Бестюбе, где жильное оруденение золото-полисульфидно-кварцевой формации накладывается на золото-сульфидное стратиформное оруденение в терригенных толщах бестюбинской свиты. В результате, данный объект по запасам на порядок превышает масштабы других североказахстанских месторождений «степнякского типа», в т.ч. и само Степнякское месторождение; в сотни раз возрастают и средние содержания золота в жилах, которые на Бестюбе достигали для целого блока 600 г/т.

Ярко выражена полиформационность месторождений Кызылкумской провинции Южного Тянь-Шаня, в частности, на крупнейшем месторождении Мурунтау. Здесь на раннюю золото-сульфидную стратиформную минерализацию, развитую в рудовмещающей (бесапанской) терригенной свите, накладывается плутоногенное золото-сульфидно-кварцевое оруденение с минералами висмута, связанное с орогенным гранитоидным магматизмом.

Поскольку главные критерии прогноза крупных и уникальных месторождений золота основаны на максимальном соответствии геологической обстановки типоморфным условиям становления золотоносных рудно-энергетических систем и реализации свойственных этим системам геолого-генетических моделей рудообразования, рассмотрим главные особенности этих обстановок.

Группе формаций плутоногенно-гидротермального семейства — золото-полисульфидно-кварцевой и золото-порфировой (для золото-скарновой формации крупные объекты не характерны) в региональном плане свойственна приуроченность золотоносных металлогенических зон к эпизвеосинклинальным орогенным системам и областям активизации с развитием гранитоидного магматизма в базитовом субстрате. Этот магматизм имеет длительное развитие в виде сменяющих друг друга гранитоидных формаций, которым свойственны проявления глубинного гибрида и контаминации. Он завершается комплексами малых интрузий и дайковыми сериями контрастного состава.

Рудные узлы и поля приурочены к приподнятым частям крыльев мегасводов, располагаясь в узлах пересечения глубинных разломов в эндогенно активных блоках и рудоносных купольных структурах, насыщенных продуктивными геологическими формациями — рудообразующими (комплексы малых интрузий) и донорными (рудовмещающие и рудоподстилающие базит-гипербазитовые комплексы).

Для оруденения золото-порфировой формации особенно благоприятны условия тектоно-магматической активизации срединных массивов и древних щитов с развитием очагов анатектонической гранитизации и субвулканических интрузий субщелочного и щелочно-го составов (Алданский щит, Кокчетавский массив).

Месторождения золоторудных формаций экзогенно-эндогенной рудно-энергетической системы — золото-мышьяковисто-сульфидной и золото-кварцевой приурочены к складчатым зонам терригенных бассейнов, занимающих эпи- или перикратонную позицию, и к складчатым терригенным чехлам срединных массивов. Близость бассейнов к этим древним структурам, содержащим в своем фундаменте высозолотоносные

базит-гипербазитовые формации, создает возможность насыщения рассеянным хемогенным золотом рудоносных углеродисто-терригенных формаций. Энергетические импульсы предорогенного и орогенного этапов приводят к развитию регенерационного рудообразования с ремобилизацией рассеянного золота вмещающих толщ. Возможен также и дополнительный привнос металла глубинными растворами — производными основной магмы.

В пределах данного формационного семейства золото-мышьяковистая и золото-кварцевая формации занимают различную геодинамическую позицию и формируются в терригенных комплексах, залегающих на различном фундаменте. Прожилково-вкрапленное золото-сульфидное оруденение характерно для бассейнов с фемическим фундаментом и формируется в условиях преобладающего сжатия, а золото-кварцевое — на сиалическом, в условиях растяжения. Совмещение на одних и тех же объектах обоих типов обусловлено соответствующей сменой геодинамического режима в процессе орогенеза. В таких месторождениях золото-кварцевое оруденение имеет резко подчиненное значение. Наконец, как было показано выше, в концентрации золото-сульфидного оруденения большую роль играет фактор экранирования.

Использование рассмотренных выше критериев позволило обосновать выделение перспективных металлогенических зон для поисков крупных месторождений золото-мышьяковисто-сульфидной формации — Западно-Уральской в области палеозойского перикратонного прогиба (Н.К. Курбанов и др.) и Пришильконско-Турунгрской в Забайкалье [1, 6].

Для формаций золото-серебряного семейства — золото-серебро-адуляр-кварцевой и золото-кварц-гидрослюдистой (аргиллизитовой), развивающихся в вулканоплутонических поясах и рифтогенных системах областей тектоно-магматической активизации, особенно важно для прогноза крупных месторождений участие в составе рудоносных структурно-вещественных парагенезисов криптовулканических аппаратов (закрытых эксплозий), формирующихся в условиях экранирования. Значение этого критерия должно рассматриваться с учетом того, что высокие концентрации золота могут содержаться в самих эксплозивных брекчиях, точнее, в их туффизитовом цементе. Это обусловлено особым механизмом рудообразования, свойственным флюидизитам, которое происходит не путем наложения на уже сформировавшиеся брекчии продуктов гидротермальной деятельности, а благодаря изначальной участию флюидной системы — как в извлечении рудного вещества из глубинных источников, так и в его транспортировке на близповерхностный уровень становления эксплозивных сооружений и месторождений. Соприкосновение с метеорными водами палеоартезианских бассейнов вызывает во флюидизитовом потоке атометасоматические процессы с преобразованием туффизитового цемента в золотоносные аргиллизиты, вторичные кварциты и адуляр-кварцевые метасоматиты.

Особенно большое значение проблема золотоносных эксплозивных брекчий приобретает в связи с последними публикациями А.Д. Щеглова и А.М. Портнова [8, 10], что подробно было рассмотрено нами ранее [9]. Диагностируя часть пиритовых окатышей золотоносных конгломератов как «эксплозивные бомбочки», А.Д. Щеглов отмечал, что при развитии эксплозивных процессов проявляется основное золотое оруденение. Он провел аналогию

между Витватерсрандом и Балеем на основании общности их тектонической позиции и проявления на первом эпитептермальной минерализации. Нам представляется, что еще большей аналогии с Витватерсрандом, чем Балея заслуживает Куранахское месторождение Центрального Алдана, где главная рудная залежь приурочена к межформационному силлу золотоносных эксплозивных брекчий, преобразованных в кварцево-адулярные метасоматиты и аргиллизиты. Проведенная аналогия позволяет предположить, что по крайней мере какая-то часть золотоносных рифов Витватерсранда представляет собой силлы золотоносных брекчий. Это указывает на возможность открытия на Куранах новых рудных залежей, которые, подобно рифам Витватерсранда, могут размещаться на разных стратиграфических уровнях платформенного чехла, что позволит значительно расширить сырьевую базу этого объекта, переведя его, возможно, из разряда крупнейших месторождений в разряд уникальных.

В целом формационный анализ, проводимый для установления типов ожидаемых месторождений и их возможной продуктивности, может базироваться на следующих главных принципах.

1. Наряду с определением рудно-формационной принадлежности выявляемых и оцениваемых объектов устанавливаются соотношения оруденения с продуктивными геологическими формациями, участвующими в реализации ведущих для данного типа геолого-генетических моделей рудообразования, с учетом тех функций, которые та или иная формация может нести в образовании месторождений данной золоторудной формации.

2. Устанавливается степень благоприятности геолого-формационной, структурной и геодинамической позиции с особым учетом возможности проявления фактора экранирования.

3. Весьма важным является также выявление на ранних стадиях оценки объектов возможной полиформационности оруденения, устанавливаемой по совмещению индикаторных признаков, характерных для различных золоторудных формаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекторова Е.А.* Особенности металлогении двух типов орогенно-активизационных структур — мегасводов и буферных зон // Металлогения Урало-Монгольского складчатого пояса. Алма-Ата, 1983. С. 5—7.
2. *Бородаевский Н.И., Бородаевская М.Б.* Березовское рудное поле. — М.: Металлургиздат, 1947.
3. *Виктер Б.Я.* Сравнительный анализ золото-сульфидных прожилково-вкрапленных месторождений различных типов // Руды и металлы. 1995. № 5. С. 72—78.
4. *Казаринов А.И.* Пример ортогенетической связи золотого оруденения с интрузией // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1959. № 6. С. 145—146.
5. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. — М.: Недра, 1989.
6. *Курбанов Н.К., Фогельман Н.А.* Гетерогенность и конвергентные ряды месторождения золотоносных рудно-энергетических систем // Отечественная геология. 1996. № 1. С. 11—20.
7. *Тимофеевский Д.А.* Геология и минералогия Дарасунского золоторудного района. — М.: Недра, 1972.
8. *Портнов А.М.* О возможном гипогенном происхождении конгломератов Витватерсранда // Изв. вузов. Разв. недр. 1988. № 10. С. 49—58.
9. *Фогельман Н.А.* Рудоносные эксплозивно-инфекционные брекчии близповерхностных золоторудных месторождений и их значение для прогноза // Отечественная геология. 1998. № 3. С. 50.
10. *Щеглов А.Д.* Об общих особенностях золоторудных месторождений Витватерсранда (ЮАР) и Болейского рудного района (Забайкалье). Сравнительный анализ // Докл. РАН. 1997. Т. 352. № 4. С. 511—513.

Оценка минерагенического потенциала рифтогенных комплексов и осадочного чехла Восточно-Европейской платформы методами поисковой геохимии

А.А.КРЕМЕНЕЦКИЙ, Г.С.ГУСЕВ (ИМГРЭ)

Постановлением (1997) коллегии Министерства природных ресурсов Российской Федерации намечена разработка целевой программы «Оценка минерагенического потенциала чехла Русской платформы». Вне всяких сомнений, эта программа должна инициировать широкий круг геологических исследований на обжитых и экономически освоенных территориях европейской части России, сырьевой потенциал которых, связанный с платформенной металлогенией, явно недооценивался.

Здесь необходимо отметить, что с понятием платформенная минерагения (металлогения) мы связываем формирование и закономерности размещения полезных ископаемых во внутриконтинентальных внутриплитовых комплексах — развитием внутриплитовых тектонических, магматических и осадочных процессов.

Как известно, в собственно платформенной истории развития докембрийских платформ, начиная с первых обобщений А.Д.Архангельского и Н.С.Шатского, в более поздних публикациях А.А.Богданова, В.В.Белоусова, В.Е.Хаина и других авторов, всегда различалось два типа платформенных комплексов: дорифейские протоплатформенные и рифейско-фанерозойские — собственно платформенные. В последние 20 лет в свете современной теории тектоники литосферных плит стало ясно, что протоплатформенные и собственно платформенные структурно-вещественные комплексы имеют одинаковую тектоническую природу. Формирование тех и других связано с одной и той же структурной последовательностью — постепенным перерастанием континентального рифтогенеза в формирование обширных осадочных бассейнов, т.е. осадочного чехла континентов, иначе платформенного чехла [10, 18, 25]. Не обнаруживаются и существенные различия между металлогеническими особенностями протоплатформенных и собственно платформенных комплексов [12, 16], что делает правомерным использование для тех и других единого термина — платформенная металлогения.

Одним из важнейших направлений программы «Оценка минерагенического потенциала чехла Русской платформы» безусловно является проведение поисковых геохимических работ. Поэтому для выбора первоочередных объектов, а также наиболее эффективных и экономически рентабельных технологий кратко охарактеризуем базовые положения платформенной металлогении Восточно-Европейского региона.

1. *Несбалансированность в России спроса и потребления не только по нефти, газу, золоту и алмазам, но и по таким легирующим компонентам, как циркон, титан, ванадий, а также дефицитным и стратегическим редким металлам — стронцию, рению, германию и др.* Например, даже сегодняшние потребности российской промышленности по цирконии и стронцию покрываются только на 10 % (Zr — из бадделиитовых, а Sr — из бедных апатитовых руд); остальное — импорт: циркон из Украины и Австралии, а стронциевые руды — из Украины и Таджикистана. Без медистых песчаников Джезказгана и других Cu-Mo объектов Казахстана, Армении, Узбеки-

стана и Монголии сырьевая база России по рению свелась к абсолютному нулю. Примеры можно расширить за счет ванадия, германия, редких земель и других металлов, которые тем не менее давно известны в чехле Русской платформы в виде многочисленных рудопоявлений и месторождений [3, 9, 12, 16, 17, 26]. Однако эти проявления до сих пор либо не оценены, либо не доведены до кондиций промышленных объектов, а известные месторождения, например цирконовые россыпи (Лукояновское в Нижегородской, Центральное и Кирсановское в Тамбовской областях), не рентабельны: первое из-за высокого уровня вредных хромосодержащих примесей, второе — из-за эпигенетических фосфорных рубашек, покрывающих и цементирующих детритовый циркон.

2. *Полигенный характер редкометалльной металлогении.* Геохимическая специализация и минерагенический потенциал Восточно-Европейской платформы, равно как и других древних платформ (Сибирской, Северо-Американской и пр.), как известно, определяются тремя главными факторами: эндогенным, экзогенным и экзогенно-эндогенным. Значение первого обусловлено весьма широким проявлением на территории платформы раннепротерозойской, рифейской и среднепалеозойской эпох континентального рифтогенеза, сопровождаемых проявлениями ультрабазит-базитового и ультраосновного-щелочного (с карбонатитами и кимберлитами) магматизма. Сеть разновозрастных рифтовых трогов Восточно-Европейской платформы, как кровеносные сосуды, буквально пронизывает всю территорию развития чехла и выходов фундамента (рис. 1, 2), определяя не только зоны платформенной эндогенной минерагении, но и положение основных структурных элементов платформы: рифтовых и пострифтовых осадочных бассейнов (синеклиз), выступов кристаллического докембрийского фундамента (щитов и антеклиз). Тем самым континентальный рифтогенез играет основную роль и в структурном положении, и в собственно осадочной (или экзогенной) минерагении чехла платформы: гипергенных месторождений кор выветривания, седиментационно-диагенетических (континентальных и морских россыпных, биогенных и хемогенных) рудных и нерудных залежей. Вместе с тем необходимо отметить, что на территории Русской платформы большое значение имели эвстатические факторы формирования осадочных бассейнов — мировых трансгрессий и регрессий. Так, относительно глубоководные осадки Русской платформы, в первую очередь, перспективные на ванадий, молибден, никель, рений, скандий, золото и другие металлы, битуминозные сланцы доломитовых слоев [6, 13, 31] формировались в ордовикскую, позднедевонскую-раннекаменноугольную и позднелюрско-меловую эпохи мировых трансгрессий, а красноцветные меденосные толщи — в эпоху пермской мировой регрессии.

Континентальный рифтогенез, наконец, оказывал огромное влияние и на формирование экзогенно-эндогенных месторождений осадочного чехла: эпигенетических гидрогенных — катагенетических или элизионных — эпитермальных, инфильтрационных

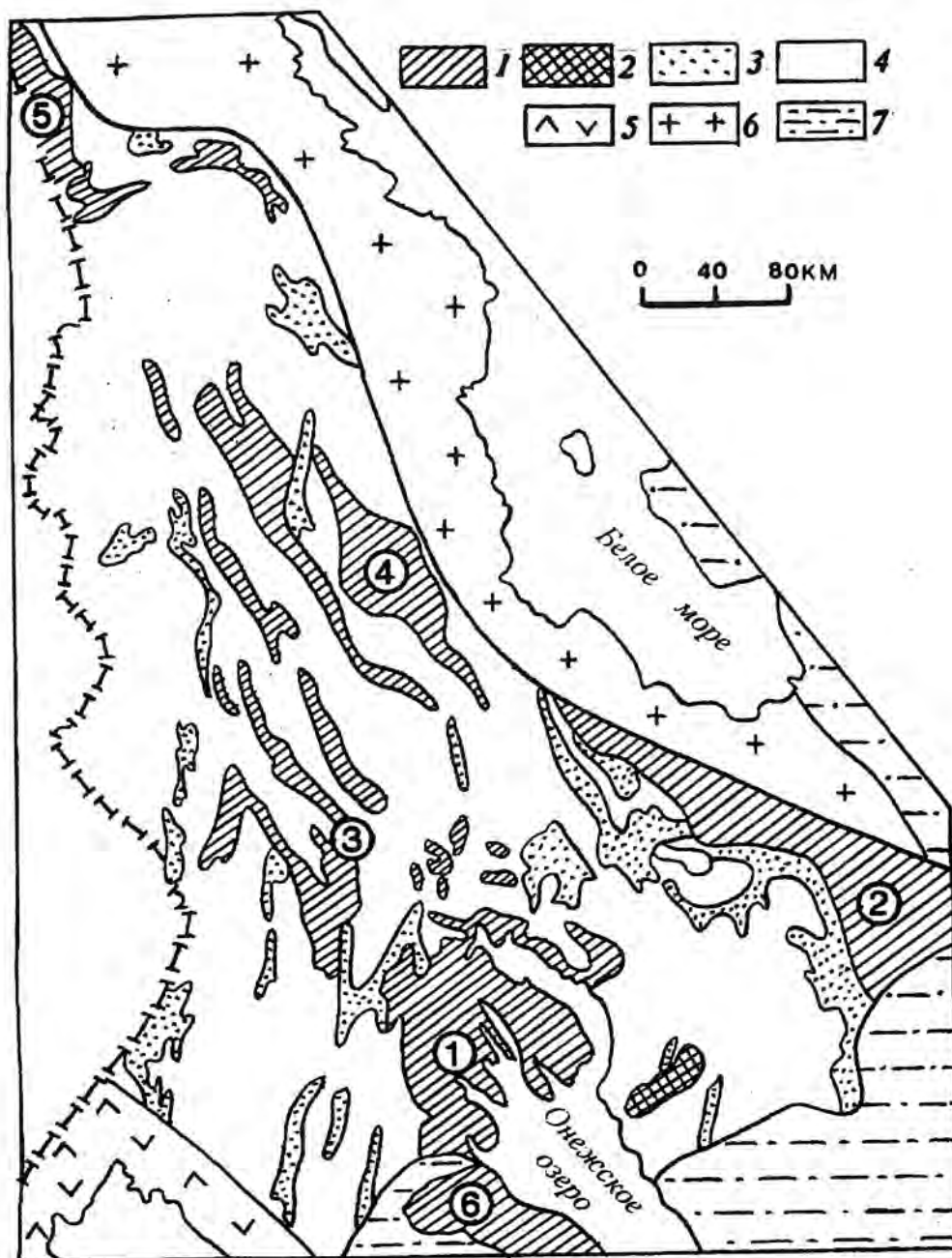


Рис. 1. Схема распространения протоплатформенных рифтогенных комплексов на территории Карельского кратона, по материалам работы [23].

1 — раннепротерозойские рифтогенные прогибы (цифры в кружках: 1 — Онежский, 2 — Ветренного пояса, 3 — Сегозерский, 4 — Лехтинский, 5 — Куоляярвинский, 6 — Шокшинский); 2 — Бураковский расслоенный базит-ультрабазитовый массив; фундамент Карельского кратона; 3 — лопийские зеленокаменные пояса, 4 — саамские и лопийские гранитоидные массивы; 5 — Ладожский блок; 6 — Беломорский блок; 7 — венд-палеозойский платформенный чехол

и карстовых месторождений свинца и цинка, стронция, а также, возможно, и меди [5, 19, 24, 27]. Это влияние опосредствовано в повышенном тепловом потоке, ареалах и путях передвижения осадочно-породных (элизионных или катагенетических) и мантийных (интрателлурических) флюидных восходящих и нисходящих (инфильтрационных) потоков [26].

3. *Полихронность минерализации.* В протоплатформенном и собственно платформенном чехле Русской платформы намечаются четыре крупные минерогенные эпохи: раннепротерозойская, рифей-раннепалеозойская, средне-позднепалеозойская (включая ранний-средний триас), мезозойско-кайнозойская. Каждая из них подразделена на несколько стадий (табл. 1, 2).

Осадочные и магматические комплексы раннепротерозойской протоплатформенной минерогенической эпохи устанавливаются по крайней мере в пределах двух крупнейших структур российской части Восточно-Европейской платформы — на Бал-

тийском щите и Воронежском кристаллическом массиве [2, 11, 28]. Лучше изучены комплексы Балтийского щита. Раннепротерозойская эпоха здесь характеризуется на примере Карельского кратона, силикатная кора которого была сформирована в конце архея, после консолидации Карельской гранит-зеленокаменной области [2, 7, 30]. На этой территории в составе протоплатформенного чехла обособляются следующие стадии континентального рифтогенеза: раннекарельская — сумия-сариолия (2,5—2,4 млрд. лет); среднекарельская — ятулия-людиловия (2,4—2,1 млрд. лет); позднекарельская — вепсия (1,9—1,6 млрд. лет). Рифтогенная природа этих образований доказывается структурными условиями локализации, геологическими и геохимическими особенностями магматических и осадочных и их металлогенией [2, 7, 8, 11 и др.]. С этими комплексами связан широкий спектр рудных и нерудных месторождений (см. табл. 1). Первое место среди них принадлежит магматическим хромитовым, медно-никелевым, платиновым и титано-магнетито-

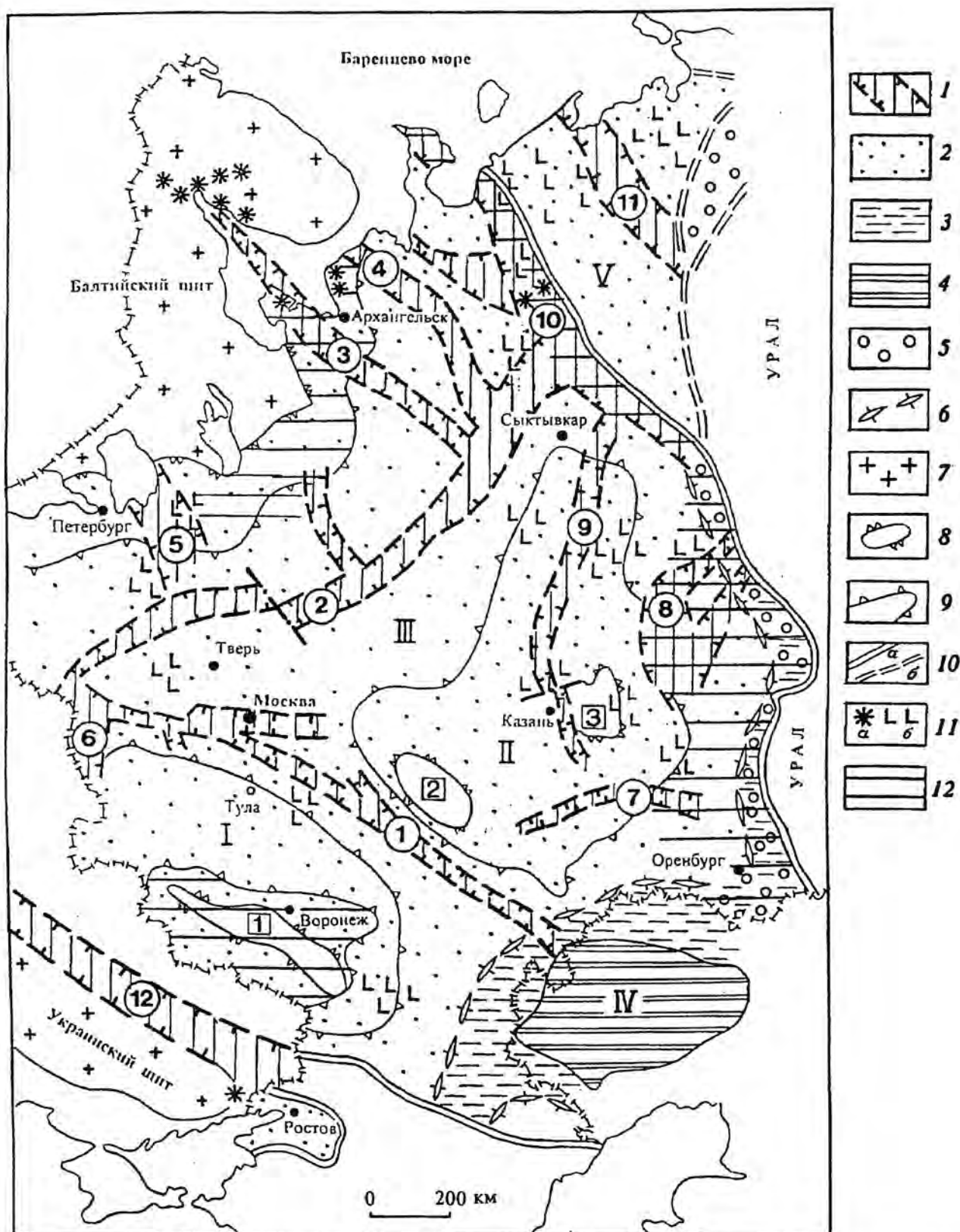


Рис. 2. Схема рифтовых трогов, внутриплитового магматизма, осадочных бассейнов Русской платформы и районов первоочередных геохимических работ:

1 — рифтовые трогов; 2 — пострифтовые и эвстатические внутриплатформенные осадочные бассейны; 3 — бассейны глубоководного шельфа и подножья континента; 4 — осадочные бассейны с океаническим основанием; 5 — краевые прогибы; 6 — барьерные рифы на краю внутреннего шельфа и краевых прогибов; 7 — шиты; 8 — выступы фундамента; 9 — границы антеклиз и синеклиз, склонов шитов; 10 — границы Русской платформы (а — с дорифейским, б — с рифейским фундаментом); 11 — проявления внутриплитового магматизма (континентальных рифтов и горячих точек) (а — ультраосновного-щелочного и щелочного, б — субщелочного базальтового); 12 — районы первоочередных геохимических работ; римские цифры — крупнейшие структуры Русской платформы: I — Воронежская, II — Волго-Уральская антеклизы, III — Московская синеклиза, IV — Прикаспийская, V — Печерская впадины; цифры в квадратах — выступы фундамента: 1 — Курско-Воронежский, 2 — Токмовский, 3 — Татарский; цифры в кружках — континентальные рифты: рифейские: 1 — Пачелмский, 2 — Среднерусский, 3 — Канда拉克ско-Двинский, 4 — Мезенский, 5 — Ладожский, 6 — Крестцовский; девонские: 7 — Сергеевско-Абдулинский, 8 — Камско-Бельский, 9 — Вятский, 10 — Тиманский, 11 — Колво-Денисовский, 12 — Днепровско-Донецкий

1. Минерогения рифтогенных структурно-вещественных комплексов раннепротерозойской протоплатформенной эпохи Карельского блока Балтийского щита

Минерогеническая стадия	Внутриплитовый магматизм и эндогенная магматическая металлогения	Экзогенная минерогения кор выветривания	Экзогенно-эндогенная минерогения осадочных бассейнов	
			Седиментационно-диагенетическая и гидротермально-осадочная	Катагенетическая и метабазитическая гидротермально-метасоматическая
Позднекарельская (вепская), 1900—1600 млн. лет	Базитовый магматизм. Ожидаются Fe, Cu-Ni-Co оруденения	Ожидаются Al оруденения	?	Известно и ожидаются Au-U-V, Pt-As-Sb-Au оруденения
Среднекарельская (ятулий-людиковская, ятулий-суйсарская), 2400—2100 млн. лет	Базитовый магматизм. Известны и ожидаются Cu, Cu-Zn-Co, Fe-Ti-Cr-Pt-V-Cu, Pt-Cu, Pt оруденения	Ожидается Ni оруденения	Известны и ожидаются Fe, Cu, Cu Pt, Mo-V, Pb-Zn оруденения	Известны и ожидаются Cu, Cu-Pt оруденения; залежи шунгита и графита
Раннекарельская (сумий-сариольская), 2500—2400 млн. лет	Ультрабазит-базитовый, базитовый (коматититовый), монцодиорит-гранитовый магматизм. Известны и ожидаются Cr, Pt-Cr, Ni-Cu-Co, Mo, Au оруденения	Ожидаются Al, Ni оруденения	?	?

вым, а также гидротермально-метасоматическим золото-уран-ванадиевым. Менее заметную роль играют осадочные железорудные и медные рудопроявления. Отметим также уникальные геохимически специализированные на Mo, V, Pb, Zn залежи шунгита и графита [1, 7, 8, 15 и др.].

Далее мы считаем необходимым обратить внимание на следующее обстоятельство, имеющее важнейшее значение для оценки минерогенического потенциала протоплатформенных образований Центральной России. В развитие некоторых публикаций [14, 29, 32, 33] мы провели сравнительный геологический и металлогенический анализ Карельского кратона с

известными уникальными золоторудными и другими месторождениями Каапвальского кратона Африканской платформы. Обнаружилось удивительное сходство, если не тождество, в составе фундамента, стадийности континентального рифтогенеза, особенностях протоплатформенного магматизма, осадконакопления и металлогении. Особенно поразительна аналогия в образовании золоторудных месторождений Витватерсранда и Онежского прогиба. И те и другие сформировались в заключительную стадию рифтогенеза в связи с постмагматической гидротермально-метасоматической деятельностью (рис. 3, см. табл. 2). В связи с этим мы полагаем, что минерогения

2. Сравнительная схема эволюции магматизма, осадконакопления и металлогении протоплатформенных рифтогенных структур Карельского и Каапвальского кратонов

Карельский кратон Восточно-Европейской платформы	Каапвальский кратон Африканской платформы
1,9—1,6 млрд. лет Третья стадия — позднекарельская (вепская) Постмагматическое гидротермально-метасоматическое рудообразование — Au, U, V, Pt As Sb Au Базитовый магматизм — Шокшинский осадочный бассейн	2,6—1,9 млрд. лет Третья стадия Постмагматическое гидротермально-метасоматическое рудообразование — Au, U, Pt, Pb, Cu, Ag, Hg Щелочно-ультрабазитовый с карбонатитами магматизм (массивы Палбара и др.) — Cu, Fe, U, TR, Au, Ag, Pt Щелочно-гранитный магматизм (Войберский массив) — Sn, Cu, W, F Базит-ультрабазитовый магматизм (Бушвельдский массив) — Cr, Pt, Fe, Ni Трансваальский вулканогенно-осадочный бассейн — Pb
2,4—2,1 млрд. лет Вторая стадия рифтогенеза — среднекарельская (ятулий-людиковская) Базитовый магматизм — Cu, Cu Zn Co, Fe Ti, Cr Pt Fe Ti Онежский и другие вулканогенно-осадочные бассейны — Fe, Cu, Cu Pt, Mo V, Pb Zn, шунгит, графит	2,7—2,6 млрд. лет Вторая стадия рифтогенеза Базитовый магматизм Витватерсрандский вулканогенно-осадочный бассейн
2,5—2,4 млрд. лет Первая стадия рифтогенеза — раннекарельская (сумий-сариольская) Интрузии монцодиорит-гранитов (в обрамлении Бураковского массива и другие мелкие массивы) — Mo, Au Базит-ультрабазитовый магматизм (Бураковский массив) — Cr, Pt, Ni Cu Co Базитовый (коматититовый) магматизм — Cu Ni Ветренного пояса, Панозерский и другие вулканогенно-осадочные бассейны	2,9—2,8 млрд. лет Первая стадия рифтогенеза Интрузии гранодиоритов — Mo Бимодальный вулканизм в осадочно-вулканогенном прогибе Доминион
Фундамент кратона 3,4—2,6 млрд. лет — лопий Гранит-зеленокаменные пояса (Парандовский, Каменноозерный, Костомукшский и др.) — Fe, Ni Cu, Cr Ti V Co, Pb Zn, Ta Nb Mo 3,8—3,4 млрд. лет — саамий Гранитогайсовое основание — Al	Фундамент кратона 3,6—3,5 млрд. лет Гранит-зеленокаменные пояса (Барбентонский, Мурчисонский и др.) — Au, Fe, Pb, Sb Hg F, Zn Cu, V, Cr 3,8—3,5 млрд. лет Гранитогайсовое основание — Sn, Ta Nb, Fe

нический потенциал рифтогенных структур Карельского кратона, а весьма вероятно и Воронежского кристаллического массива, очень высоких, и в них следует ожидать открытие уникальных месторождений золота и других металлов.

Главная особенность рифей-раннепалеозойской эпохи — исключительно широкое развитие рифейского континентального рифтогенеза, в процессе которого была сформирована равномерно развитая на всей площади платформы сеть крупных рифтовых трогов (Пачелмского, Среднерусского и др.), ареалов базитового магматизма и крупных выступов кристаллического фундамента [11, 18, 20]. Последние являлись областями формирования гипергенных месторождений, например железорудных на Воронежском выступе и никеленосных на юго-западном склоне Балтийского щита. С базальтовым магматизмом оруденения пока не установлены, но следует ожидать формирование медных и медно-никелевых магматических и медных осадочных месторождений. Кроме того, по аналогии с Сибирской платформой, в рифтовых зонах предполагается очаговое развитие ультраосновного-щелочного магматизма (в т.ч. карбонатитового и кимберлитового) с соответствующей редкометалльно-редкоземельной, апатитовой и алмазной минерацией. Венд-раннепалеозойская стадия характеризуется формированием относительно небольшого Балтийско-Московского [20] пострифтового и эвстатического осадочного бассейна с известной в нем фосфоритовой и горючесланцевой (кукерситовой) минерацией [12]. По аналогии с Австралийской (месторождение Олимпик-Дамп) и Северо-Американской (месторождения группы Атабаска) платформами в горючесланцевой формации Русской платформы следует ожидать развитие ванадиевого, уранового, молибденового и платинового оруденения и, как об этом свидетельствует их геохимическая специализация [8], перспективность на Mo, Sc, Be, Ag, Au, Pb, Zn (табл. 3).

Вторая эпоха — средне-позднепалеозойская (включая ранний-средний триас) также начинается с континентального рифтогенеза (Днепровско-Донецкий, Тиманский и другие рифты) и отличается формированием гетерогенного по природе, но практически сплошного осадочного чехла: пострифтовых, эвстатических, шельфовых окраинно-континентальных осадочных бассейнов и Предуральского прогиба. Здесь мы специально обращаем внимание на формирование протяженной зоны барьерных рифов девонского возраста (см. рис. 2), развивающихся на краю шельфа в обрамлении девонских Уральского и Прикаспийского океанических бассейнов [6, 11], про-

мышленная нефтегазоносность которых уже установлена, а потенциальная свинцово-цинковая рудоносность вполне очевидна. Девонский рифтогенез на Русской платформе сопровождался внутриплитовым базитовым и ультраосновным-щелочным и щелочным магматизмом [11, 16] с соответствующей редкометалльно-редкоземельной, апатитовой и алмазной минерацией не только в девонских рифтовых зонах, но и в рифейских рифтах (Кандалакшско-Двинском, Мезенском). Это позволяет предполагать развитие девонского ультраосновного-щелочного магматизма в зонах и других рифейских рифтов — в частности Пачелмского и Среднерусского и тем самым поддержать предпосылки молодой алмазности этих структур [4]. Девонская стадия — вто-

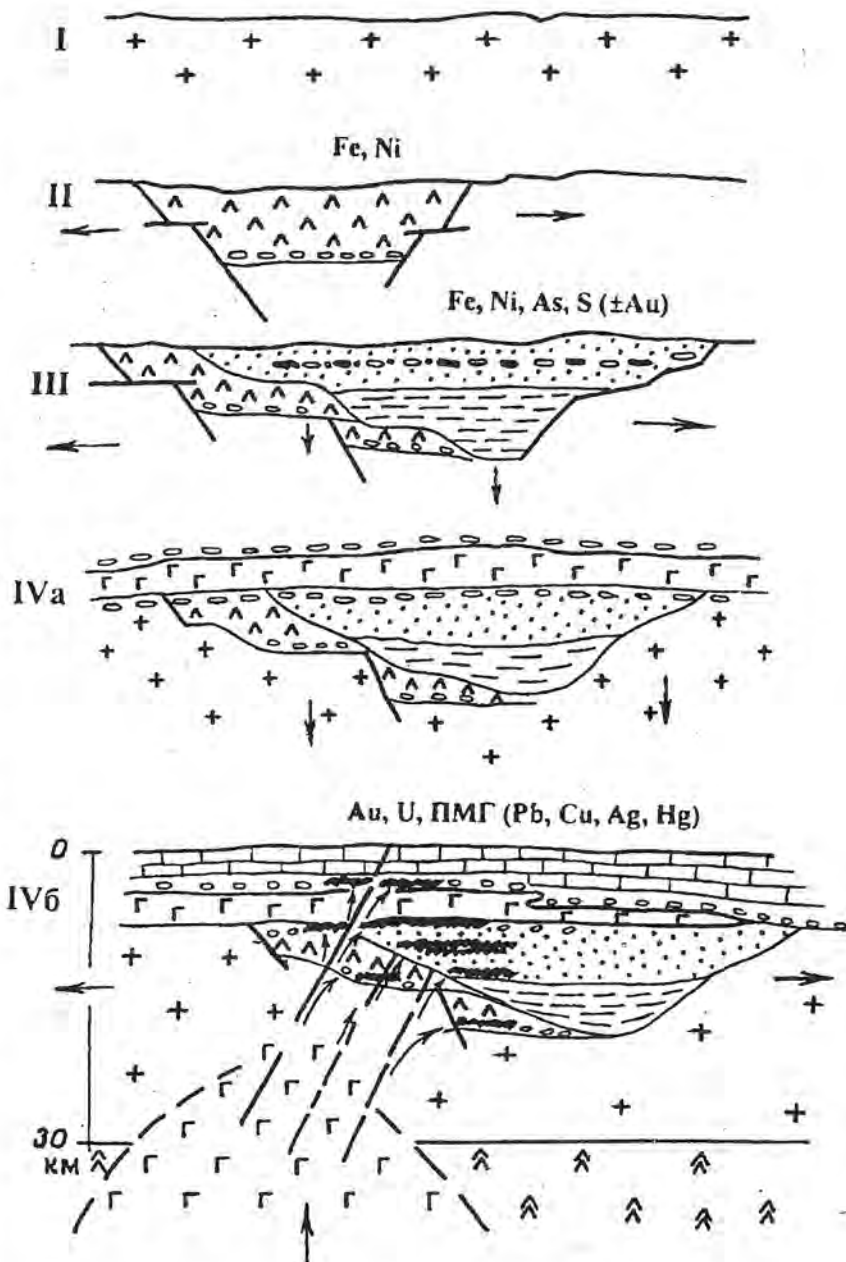


Рис. 3. Схема эволюции прогибов Каапвальского кратона:

I — кратонизация, более 3,1 млрд. лет; II — рифтинг, 2,9—2,8 млрд. лет; III — надрифтовый осадочный бассейн, 2,8—2,6 млрд. лет; IVa — трапповый магматизм, 2,6—2,1 млрд. лет; IVб — постмагматическая деятельность (формирование рудного района Витватерсранд), 2,1—1,9 млрд. лет

3. Минерагенические эпохи и типы минерагения в платформенном чехле Русской платформы

Минерагеническая эпоха	Минерагеническая стадия	Внутриплитовый магматизм и эндогенная минерализация	Экзогенная минерализация в гипергенно-денудационных ареалах	Минерагения осадочных бассейнов		
				Тип осадочных бассейнов	Седиментационно-диагенетическая минерагения	Катагенетическая (элизионная) минерагения
I. Рифей-раннепалеозойская (1600—390 млн. лет)	Рифейская (1600—650 млн. лет)	Известен базитовый магматизм без оруденения. Ожидается Cu, Ni, Co оруденение. Ожидается ультраосновной-щелочной магматизм с Nb, Ta, Zr, Y, Ce, Fe, Ti, Pt оруденением и алмазами (Di)	Известны и ожидаются Ni, Fe коры выветривания	Рифтовых трогов	Ожидаются россыпные Ti, Zr, алмазы (Di) месторождения	Ожидается Cu (медистых сланцев и песчаников), Pb-Zn оруденения в карбонатных толщах
	Венд-раннепалеозойская (650—390 млн. лет)	Нет	Нет	Пострифтовый Балтийско-Московский бассейн	Известны и ожидаются фосфоритовые залежи	Известны и ожидаются Pb-Zn рудопроявления
				Эвстатический Балтийско-Московский бассейн	Горючие (кукерситовые и диктионовые) сланцы	Ожидается Re, Sc, Be, Mo, Ag, Au, Pb, Zn оруденение
II. Средне-позднепалеозойская (включая ранний — средний триас) (390—230 млн. лет)	Средне-позднедевонская (390—350 млн. лет)	Известен базитовый магматизм с Cu оруденением. Ожидается Cu-Ni оруденение. Известен и ожидается ультраосновной-щелочной с Nb, Ta, Zr, Di, Y, Ce, P, Fe, Ti, Pt оруденением	Известны и ожидаются Ni-Fe коры выветривания	Рифтовых трогов	Известны месторождения Na солей и палеороссыпи Au	Ожидается Pb, Zn оруденение
				Пострифтовых бассейнов	Известны и ожидаются месторождения K-Na солей и Sr	Известно и ожидается Pb-Zn оруденение
				Эвстатических некомпенсированных бассейнов	Доманиковые сланцы	Ожидается Bi, Ag, Sb, Mo оруденение
				Барьерных рифов внешних шельфов	Нет	Ожидается Pb-Zn оруденение
				Подножий континентов	Нет	Au в черносланцевых толщах
	Раннекаменноугольная — раннепермская (350—260 млн. лет)	Нет	Известны и ожидаются Ni, Fe, Al коры выветривания. Известны и ожидаются инфильтрационные U рудопроявления	Пострифтовых бассейнов	Известны и ожидаются месторождения Al, бурых углей, Sr, Na-солей	Ожидается Be, Mo, Ag, Sc оруденение
				Краевых прогибов	Известны и ожидаются месторождения K-Na солей, Mn, каменных углей	Ожидаются Pb, Zn месторождения
	Позднепермско-среднетриасовая (260—220 млн. лет)	Известен базитовый магматизм в Печорском прогибе — без оруденения. Ожидаются рудопроявления Cu, Ni, Co	Ожидаются экзокарстовые и инфильтрационные рудопроявления U	Пострифтовых бассейнов	Известны и ожидаются месторождения Ti, Zr, Sr, K-Na солей	
				Краевых прогибов	То же	Известны и ожидаются месторождения Cu
	III. Мезокайнозойская (220—0 млн. лет)	Позднетриасовая-раннеюрская (220—180 млн. лет)	Ожидается ультраосновной-щелочной магматизм с Di, Nb, Ta, Zr, Y, Ce оруденением	Известны и ожидаются Ni, Fe, Al коры выветривания, инфильтрационные и экзокарстовые рудопроявления U	Нет	Нет
Среднеюрско-среднепалеогеновая (180—30 млн. лет)		Нет	Нет	Эвстатические и эпйрогенетические (ближе не определенные) бассейны	Известны и ожидаются месторождения горючих сланцев, фосфоритов; рудопроявления Au	Ожидается Mo, Ag, Bi, Re, Sc оруденение в горючих сланцах
Олигоцен-четвертичная (неотектоническая) (30—0 млн. лет)		«	Известны и ожидаются россыпи Au, Di; инфильтрационные урановые рудопроявления в торфяниках	То же	Строительные материалы. Месторождения Mn	Известны и ожидаются залежи S

рая главная в формировании супербогатых железом кор выветривания на КМА, это более поздние (раннекаменноугольные) латериты с Тихвинскими бокситами на погребенном склоне Балтийского щита. С этими же рифтами и их плечами связан дренаж в осадочный чехол глубинных металлоносных флюидов с образованием элизионных или гидрогенных Pb-Zn месторождений типа Валуйки на юге Воронежской антеклизы или ртути в Донбассе (Днепро-Донецкий рифт) [16]. Со средне-позднепалеозойской эпохой связано также предрифтовое сводообразование (Татарский, Токмовский, Воронежский) с соответствующим разрушением архейских гранитоидов, т.е. первым возбуждением коренных источников для будущих Ti-Zr россыпей. На востоке Русской платформы в осадочных бассейнах девонского и каменноугольного возраста кроме того формировались высокоуглеродистые осадочные толщи доманиковой формации, высокопотенциальной в отношении комплексного благородно- и редкометалльного оруденения [13, 31]. Наконец, средне-позднепалеозойские осадочные бассейны Русской платформы уникальны залежами калийных и поваренных солей, стронция, осадочных месторождений меди, титан-циркониевых россыпей, что в совокупности с упомянутым выше потенциалом выдвигает ее в главную минерогеническую эпоху.

Третья — минерогеническая мезокайнозойская эпоха (с двумя пиками: юра — мел и палеоген) знаменует формирование главным образом собственно осадочных месторождений чехла. Последние, как известно, подразделяются на две группы: первая — хемогенно-осадочные — это фосфориты, позднерусские горючие сланцы (Волжское месторождение), геохимически специализированные на Mo, Au, Bi, Re, Sc [6], а также выявленные в последние годы рудопроявления целестина в Тульской области (Тобольское), Мазуевское в Пермской и Пинежское в Архангельской области, с глубиной залегания от поверхности 3—90 м, с прогнозными ресурсами несколько миллионов тонн и средним содержанием SrO 10,2—27,9 %. Вторая группа — терригенно-осадочные или россыпные месторождения (например, те же титан-циркониевые), при формировании которых решающую роль опять же играет древний фундамент как источник сноса. Так, например, поставленные на баланс в настоящее время Ti-Zr россыпи в Нижегородской (Лукояновское) и Тамбовской (Центральное, Кирсановское) областях возникли вследствие многоступенчатой переработки гранитоидов фундамента на Татарском и Токмоковском сводах, а также, возможно, продуктов щелочного базит-гипербазитового магматизма, связанного с рифейским и среднепалеозойским рифтогенезом. А это россыпи алмазов, пироклора и других редкоземельных минералов. На территории Русской платформы мезокайнозойские магматические проявления неизвестны, но на Урале, в восточных и центральных районах платформы устанавливаются раннеюрские и кайнозойские деформации осадочного чехла, вплоть до формирования взбросовых и надвиговых структур (например, в Самарской Луке). В связи с тектонической активизацией по аналогии с Сибирской платформой можно предполагать и проявление магматической деятельности, в частности внутриплитового ультраосновного-щелочного магматизма. Тем более, что из палинспатических реконструкций [21] следует, что в начале ранней юры территория центральной и восточной частей Русской платформы распо-

лагалась в координатах современного Рейнского рифта, с формированием которого связано и проявление карбонатитового магматизма массива Кайзерштуль.

Все вышесказанное позволяет сформулировать заключительное положение — *минерогенический потенциал Русской платформы и его география определяются структурно-формационными неоднородностями осадочного чехла и погребенного фундамента* (связанных в первую очередь с разновозрастными рифтовыми зонами, главные из которых показаны на рис. 1, 2), *а пространственное положение этих неоднородностей и близость фундамента к дневной поверхности — главные координаты постановки первоочередных площадных геохимических поисков.*

Учитывая вышесказанное, а также выполненную нами предварительную оценку каждого из 40 субъектов федерации, распространенных в пределах контура чехла Русской платформы (по таким показателям, как площадь области; известные в ней месторождения и рудопроявления; прогнозируемые полезные ископаемые; горно-рудные территории и их площади; территориально-промышленные комплексы, их спецификация и занимаемая площадь; мегаполис и его площади; сельскохозяйственные земли, их типизация и их площадь; природоохранные территории (заповедники) и их площади), в качестве первоочередных намечены следующие площади: на севере — Архангельская область и Республика Коми, в Предуралье — Пермская, Башкирская, Оренбургская области и на юго-западе — Курская, Воронежская, Белгородская, Пензенская, Саратовская (см. рис. 2). Для каждой из этих площадей предлагается следующая последовательность поисковых геохимических и экогеохимических работ.

I. Проведение площадных геохимических поисков разных типов промышленного оруденения и экогеохимическая оценка состояния территорий городских агломераций и горно-рудных предприятий в масштабе 1: 200 000.

Результатом площадных геохимических работ будет выявление наиболее перспективных геологических формаций, установление их геохимических характеристик, выделение специализированных аномальных геохимических полей (соответствующих рудным узлам, рудным районам) для постановки в их контурах более детальных геохимических работ, а также прогнозная оценка этих полей на различные типы полезных ископаемых с перспективой прироста их прогнозных ресурсов в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

II. Проведение локальных геохимических поисков разных типов промышленного оруденения и экогеохимические работы в масштабе 1: 50 000 и крупнее, в первую очередь: на севере погребенный континентальный склон в Архангельской области и Тиманский край в Республике Коми; в Предуралье (Пермская область); на юго-западе — Курско-Воронежско-Белгородская область.

Геохимические поисковые работы этого масштаба будут проводиться для выявления, оконтуривания и оценки локальных площадей и структур, а также выявления новых экономически рентабельных промышленных месторождений полезных ископаемых. В первую очередь, это россыпи Ti, Zr и Au (последний и в гипогенных корах выветривания), латеритные коры выветривания по щелочно-ультраосновным и карбонатитовым интрузиям с Al, Ni, алмазами и минералами редких земель, хемогенно-осадочные

скопления Mn, элизионные месторождения Pb-Zn и других цветных и редких металлов.

Эксплуатация месторождений полезных ископаемых Русской платформы нарушила природные ландшафты, изменила режим поверхностных и подземных вод, загрязнила атмосферу, грунты и почву, вывела из хозяйственного оборота сельскохозяйственные земли или снизила их плодородность, вызвала провалы и просадки обширных территорий и их заболачивание. Все это серьезно изменило среду обитания и негативно сказалось на здоровье населения.

В связи с этим предполагается на примере угольных бассейнов оценить геоэкологические последствия добычи угля. Разработка фосфоритовых месторождений Русской платформы и их переработка в удобрения приводит к загрязнению всех компонентов окружающей среды широким спектром токсичных элементов, в т.ч. относящимся и к I группе опасности, и вызывает целый ряд специфических экологически-зависимых заболеваний. Многие титано-цирконевые россыпи обогащены монацитом и другими минералами концентраторами редких и радиоактивных элементов. Разработка таких месторождений опасна в связи с возможностью перехода в рудничные воды и атмосферную пыль многих редких токсичных элементов, воздействие которых на организм человека может привести к серьезным патологическим изменениям.

Использование методов эколого-геохимического картирования и сопряженных медико-экологических работ в различных ландшафтно-климатических зонах позволит оценить масштабы и выявить степень влияния техногенных факторов на здоровье населения, разработать рекомендации по поведению природоохранных и медико-профилактических мероприятий.

Научно-методическое обеспечение геохимических работ предполагается осуществить по следующим главным направлениям: составление банка геохимических данных (в т.ч. архивных) по Русской платформе для увеличения эффективности прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000 — 1:50 000 и крупнее;

апробация и совершенствование экспрессных полевых геохимических методов прогноза и поисков (атмо-, электрогеохимических, изотопных, лидарных и др.) применительно к природным условиям Русской платформы и конкретным минералогическим типам руд;

разработка прогнозно-поисковых геолого-геохимических моделей рудообразующих систем применительно к перспективным типам оруденения чехла Русской платформы;

составление и интерпретация карт аномальных геохимических полей и геохимических основ прогнозных карт масштаба 1:200 000 — 1:50 000 и крупнее;

оценка флангов и глубоких горизонтов эксплуатируемых и разведываемых месторождений экспрессными геохимическими методами с целью прироста прогнозных ресурсов и запасов различных категорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибина Т.В., Мельников Е.К. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 3—14.
2. Борукаев Ч.Б. Структура докембрия и тектоника плит. — Новосибирск: Наука, 1985.

3. Быховский Л.З., Зубков Л.З., Патык-Кара Н.Г. Перспективы промышленного освоения титано-циркониевых россыпей Русской платформы и задачи дальнейших исследований // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 28—37.
4. Ваганов В.И., Варламов В.А., Голубев Ю.К. и др. Центральная часть Восточно-Европейской платформы — новая алмазоперспективная территория // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 10—16.
5. Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В. Главнейшие типы рудных месторождений. — М.: Недра, 1975.
6. Геологический атлас России. Масштаб 1:10 000 000 / Отв. ред. А.А.Смыслов. — М.—С-Пб., 1996.
7. Геология Карелии. — Л.: Наука, 1987.
8. Голубев А.И., Светов А.П. Геохимия базальтов платформенного магматизма-вулканизма Карелии. — Петрозаводск: Карелия, 1983.
9. Горжевский Д.И., Ручкин Г.В., Володин Р.Н., Донец А.И. Месторождения цветных и благородных металлов осадочных бассейнов чехлов древних платформ и геологические предпосылки их открытия на Русской платформе // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 17—27.
10. Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. — М.: Недра, 1987.
11. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. — М.: Недра, 1990.
12. Карта экзогенной минерализации СССР. Масштаб 1:5 000 000 / Под ред. Б.М.Михайлова. — М.: Мингео СССР, 1989.
13. Константиновский А.А., Волчков А.Г., Конкин В.Д., Захарова А.Н. Доманиковые слои центральной части Русской плиты и их потенциальная рудоносность // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 54—59.
14. Кременецкий А.А., Минер Э.Ф., Максимюк И.Е., Юшко Н.А. Золоторудные гиганты Мира: новая генетическая концепция // Наука о Земле на пороге XXI века: новые идеи, подходы, решения. М., 1997. С. 96.
15. Леднева Н.В., Пакульнис Г.В. Минералогия и условия образования уран-ванадиевых месторождений Онежской впадины (Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 30. № 3. С. 258—268.
16. Металлогенетическая карта Русской платформы. Масштаб 1:2 500 000 / Под ред. Ю.Г.Старицкого, А.А.Удаловой. — М.: Мингео СССР, 1987.
17. Мигачев И.Ф., Ключкин А.Н., Сычкин Н.И., Ручкин Г.В. Основные результаты исследований рудоносности чехла Восточно-Европейской платформы и приоритетные направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 5—9.
18. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. — М.: Недра, 1983.
19. Романовский С.И., Тараканов А.С., Феоктистов В.П., Шеолов А.Д. Геодинамика и минерализация осадочных бассейнов (пути решения проблемы) // Региональная геология и металлогения. 1993. № 3. С. 63—76.
20. Ронов А.Б., Хаин В.Е., Сеславинский К.Б. Атлас литолого-палеогеографических карт Мира. Поздний докембрий и палеозой континентов. — Л., 1984.
21. Ронов А.Б., Хаин В.Е., Балуховский А.Н. Атлас литолого-палеогеографических карт Мира. Мезозой и кайнозой континентов и океанов. — Л., 1989.
22. Рыбаков С.И., Голубев А.И., Слюсарев В.Д., Лавров М.М. Докембрийский рифтогенез и его роль в формировании современной структуры Фенноскандинавского щита // Тектоника и общие региональные аспекты. Матер. XXXI Тектонического совещания. М., 1998. I-II. С. 140—143.
23. Рыбаков С.И., Лавров М.М., Слюсарев В.Д., Трофимов Н.Н. Оценка перспектив платиноносности докембрийских образований Карелии // Платина России. М., 1994. С. 41—47.
24. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1969.
25. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. — М.: Изд-во МГУ, 1995.
26. Халезов А.Б. Основные типы уранового оруденения востока Русской платформы, их генезис и перспективы // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 48—53.
27. Холодов В.Н. Модель элизионной рудообразующей системы и некоторые проблемы гидротермально-осадочного рудообразования // Редкометалло-урановое рудообразование в осадочных породах. М., 1995. С. 10—30.
28. Чернышов Н.М., Холин В.М., Ненахов В.М. и др. Эволюция рифтогенных структур в раннем докембрии Воронежского кристаллического массива // Тектоника и общие региональные аспекты. Матер. XXI Тектонического совещания. М., 1998. Т. II. С. 261.
29. Шеолов А.Д. О металлогении Южно-Африканской республики, генезис золотого месторождения Витватерсранд и проблема открытия их аналогов в России. — С-Пб: ВСЕГЕИ, 1994.
30. Шеолов А.Д., Москалева В.Н., Марковский Б.А. и др. Магматизм

и металлогения рифтогенных систем восточной части Балтийского щита. — С-Пб: Недра, 1993.

31. Юдович Я.Э., Кемпис М.П. Геохимия черных сланцев. — Л.: Наука, 1988.
32. Kremenetsky A.A., Jordaan L.J. On the volcanogenic-sedimentary nature of auriferous conglomerates, Witwatersrand, South Africa

// Metmorphism of volcanic-sedimentary ore deposits (International conference), Petrozavodsk, KRC, 1996. P. 136—139.

33. Kremenetsky A.A., Yushko N.A., Maksimuk I. Ye. Hydrothermal formation of Precambrian auriferous conglomerates // Mineral Deposits: Research and Exploration Where do They Meet? (Ed. H. Papunen). Rotterdam: A.A. Balkema, 1997. P. 221—224.

УДК 553.44:550.93

© Н.С.Скрипченко, А.С.Тамбиев, 1999

Линейность свинцово-изотопных дисперсий как металлогенический критерий

Н.С.СКРИПЧЕНКО, А.С.ТАМБИЕВ (Новочеркасский государственный технический университет, Комитет природных ресурсов Карачаево-Черкесской республики)

Маркирующее значение изотопного состава свинца в связи с диагностикой источников оруденения показано во многих работах [3—8, 10, 14 и др.]. Интерпретационной основой при этом является положение единичных или усредненных точечных значений на известных диаграммах типа $^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}$. Дальнейшее совершенствование в этом вопросе достигается при использовании типологических особенностей роев свинцово-изотопных определений отдельных рудопроявлений. Практически всегда рои характеризуются удлиненной формой. Величина и ориентировка длинной оси роев относительно геохронных конкордий мантии (М), нижней и верхней коры (НК и ВК) — количественные признаки, сопряженные с генетическими особенностями рудных свинцов. Угловые вариации осевых линий роев наиболее контрастно различаются

на диаграмме с координатами $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (рис. 1, а). На координатах — соотношения трех изотопов, количество которых динамично изменяется с позднего докембрия (2,5 млрд. лет) после выгорания основной массы ^{235}U . Вариация содержания ^{204}Pb связана с колебанием радиогенности свинца того или иного генетического типа. Вариация $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ характеризует качественный (торогенность-ураногенность) показатель радиогенности.

Диаграмма $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ позволяет значительно увеличить угловой сектор ориентировки осей роев и тем самым более контрастно отобразить различия отдельных типов рудных свинцов. Поскольку на диаграмму $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ наносятся два динамично изменяющихся изотопных показателя, позиции изохронных точек на кривых эволюции свинца М, НК и ВК образуют треугольник. Значения ^{204}Pb и

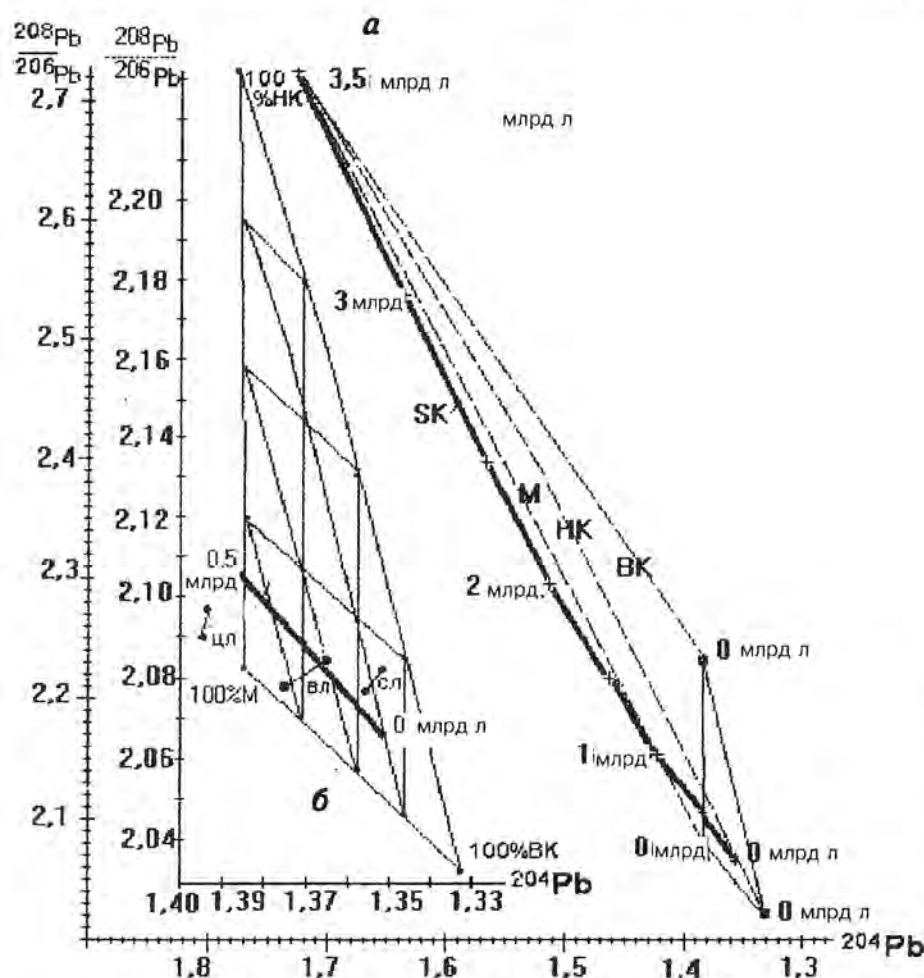


Рис. 1. Эволюционные тренды изотопных значений свинцов мантии (М), верхней и нижней коры (ВК и НК) по модели плюмботектоники Б.Доу и Р.Зартмана [4], SK-конкордия Стейси — Крамерса [19] (а) и номограмма-изохрона 0 млрд. лет по данным работы [1] (б):

треугольник — изохрона 0 млрд. лет; жирная линия — отрезок конкордии Стейси — Крамерса в интервале 0—0,5 млрд. лет; цл, сл, влосевые линии роев Центральный и Северный Лай, Венский лес

$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ для настоящего времени (0 млрд. лет), пересчитанные по значениям $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ для М, НК, ВК по работе [4], приведены на диаграмме (см. рис. 1, б). Точки М, НК, ВК объединяются в треугольную изохрону, внутреннее поле которой разбито координатной сеткой трехкомпонентной диаграммы со значениями 100 % в точках М, НК, ВК.

К рудопроявлениям с отчетливо проявленным влиянием мантии как источника оруденения относятся сульфидные образования рифтовых и коллизионных структур современного океана. На рис. 1, б показано положение осевых линий роев свинца из руд в зоне желоба Тонга. Оси ориентированы поперечно к линии регрессии Стейси — Крамерса, что, согласно номограмме-изохроне М—НК—ВК, свидетельствует о мантийно-коровом источнике. Однако небольшая величина осей объясняется доминирующим значением мантийного свинца.

Мантийно-коровый смешанный характер оруденения проявлен в группе протерозойских месторождений Австралии: Брокен-Хилл, Маунт-Айза, Мак-Артурривер. Свинцово-изотопные определения в районе Мак-Артурривер, выполненные Б.Джесоном [16], группируются в рой линейного вида (рис. 2), ориентированный поперечно к линии Стейси — Крамерса. Вероятная формула смешения в соответствии с номограммой-изохроной на диаграмме $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ следующая: 75 % М, 12,5 % НК и 12,5 % ВК.

Рой точек изотопных значений руд Маунт-Айзы на диаграмме $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (см. рис. 2), составленной по данным работы [16], характеризует Pb свинцово-цинковых слоистых руд. Ориентировка длинной оси как и для руд Мак-Артурривер поперечная к линии Стейси — Крамерса, что указывает на гетерогенный источник оруденения. Центр роя соот-

ветствует формуле смешения Pb (в %): М 50, НК 20, ВК 30.

На месторождении Брокен-Хилл, согласно работе [15], почти все запасы Pb, Zn, и Ag сосредоточены в главной залежи, объединяющей три глубоко дислоцированные и термально метаморфизованные линзы. На диаграмму (см. рис. 2) нанесены определения по главной залежи, опубликованные Р. Расселом и Р. Фаркуаром [6]. Точки распределяются вдоль линии, поперечной к конкордии Стейси — Крамерса. Согласно номограмме-изохроне М, НК и ВК, роль мантийного, ниже- и верхнекорového свинца для нижней и верхней точек роя оценивается значениями (в %): М 63, НК 14, ВК 23 и М 15, НК 35, ВК 50 соответственно. Полученные пределы свидетельствуют о том, что средний рудный свинец Брокен-Хилла мантийный не более, чем на 50 %, а скорее меньше. Данный вывод соответствует геологической позиции месторождения в краевой зоне кратонизированной архей-протерозойской плиты, сложенной терригенным гранитизированным комплексом.

По свинец-изотопным характеристикам руды трех крупнейших стратиформных месторождений Австралии сходны с мантийной составляющей, изменяющейся от 50 до 75 %. Скоррелированность свинец-изотопных признаков позволяет связывать источник металлов гигантских протерозойских месторождений с мантийными струями в рифтовых зонах континентальных плит. К такому заключению одним из первых пришел В.И. Смирнов [18]. Вместе с тем мантийный Pb составляет около 50 % в рудах Брокен-Хилла. Вторая половина представлена ниже- и верхнекорovým вкладом.

Структурное подобие диаграмм $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ протерозойских месторождений Австралии и современных «курильщиков» иллюстрируют характерную черту генезиса протерозойского крупномасштабного гидротермально-осадочного рудообразования. Каждое из трех месторождений сформировалось в течение относительно небольшого промежутка времени, который отображается длиной короткой оси роев и колеблется около 20 млн. лет для Брокен-Хилла и Маунт-Айзы. Такие пределы согласуются с гидротермально-осадочным механизмом и относительно небольшой мощностью рудоносных пачек. Основные вариации изотопного состава рудного свинца происходят по осям, поперечным к конкордии Стейси — Крамерса. Вариации данного типа отражают механизм смешения с участием свинца всех трех формаций литосферы: мантии, нижней и верхней коры одновременно.

Принципиально другим изотопным типом рудного свинца стратиформных месторождений является свинец фракционного выщелачивания. К этому типу относится свинец фанерозойских полиметаллических месторождений долины Миссисипи. Здесь он впервые выделен как аномальный свинец «Джоплин», характеризующийся избыточным содержанием ^{206}Pb и ^{208}Pb по сравнению с нормальным палеозойским и современным свинцом. Распространение свинца «Джоплин» не ограничивается только рядом рудных месторождений Миссисипского типа. Согласно Б.Дюу и Р.Зартману [4], он характерен, в частности, для современных терригенных осадков, образующихся на докембрийских плитах. Основой для предлагаемой общей генетической модели свинца «Джоплин» являются свинцово-изотопные исследования руд месторождений свинцового пояса юго-востока

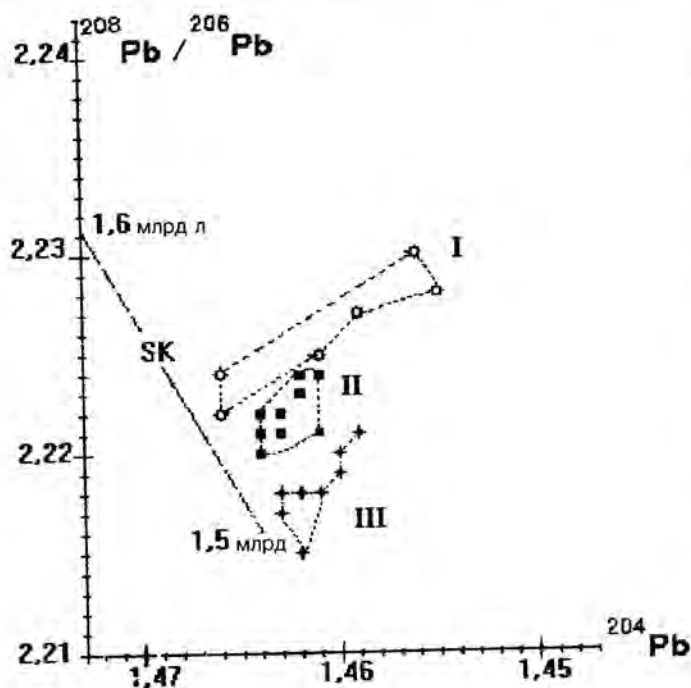


Рис. 2. Диаграмма $^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ рудного свинца протерозойских месторождений Австралии, по работам [6, 15, 16]:

I — Брокен-Хилл; II — Маунт-Айза; III — Макалтур

Миссури, выполненные за последние два десятилетия [9, 11, 17, 21].

Банк свинцово-изотопных данных юго-востока Миссури включает определения ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb в стадийно протаксированных рудных агрегатах и срезах кристаллов галенита октаэдрической, кубической и комбинированной кубооктаэдрической форм. Октаэдрическая форма датируется как более ранняя генерация, с которой связывается около 80 % промышленной массы свинца. Кубическая выделяется на заключительной стадии [11, 20]. На диаграмме ^{204}Pb — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (рис. 3) точечные значения образуют рой с коэффициентом удлинения более 10. Ось роя ориентирована в направлении конкордий Стейси — Крамерса, но расположена на значительном расстоянии от нулевой точки в области свинца «будущего». Аналогичную позицию занимают оси роев свинца других стратиформных полиметаллических месторождений долины Миссисипи (рис. 4). В пределах общего роя месторождений юго-востока Миссури свинец октаэдрической генерации отличается несколько меньшей радиогенностью, чем свинец кубического типа. Различие изотопных характеристик обеих генераций показана на гистограмме (рис. 5).

Модель, коррелирующая геологические особенности и повышенную радиогенность рудного свинца месторождений долины Миссисипи, и в частности, юго-востока Миссури, имеет многоступенчатую структуру. Рудный свинец мобилизовался в породах докембрийского фундамента. Мобилизация шла в условиях динамичной терригенно-бассейновой системы. На юго-востоке Миссури зарождением этой системы явилось образование базальной песчано-алевролитовой формации кембрийского возраста. Залегающая на ней рудоносная известково-доломитовая толща Бонтерре накапливалась в условиях рифообразования и эвапоризации. Именно с этой стадией седиментогенеза синхронизируется рудоотложение.

Конверсия докембрийских пород в песчаники шла не только механически, но и при активной химической дифференциации в коре выветривания. Характерное следствие дифференциации — более низкое содержание U, Th и Pb в песчаниках по сравнению с породами фундамента: в 3,10 и 2 раза соответственно [12]. Снижение содержания Pb с 10–15 г/т в риолитах фундамента до 1–9 г/т в песчаниках кажется парадоксальным из-за одновременного повышения его радиогенности. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ изменяется от 17,5 в риолитах до 20,5 в песчаниках и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 38,5 до 39,5 соответственно. Рост содержания радиогенного свинца в базальных песчаниках может быть получен скорее всего путем добавки ^{206}Pb и ^{208}Pb к свинцу пород фундамента в ходе терригенной конверсии. Но в действительности песчаники оказались обедненными свинцом при увеличении в нем радиогенного компонента.

Рассматриваемые изотопно-количественные различия свинца докембрийских кристаллических пород и возникшей из него терригенно-обломочной толщи приводят к выводу, что свинец в песчаниках не является прямым остаточным продуктом. По изотопному составу, это свинец, загрязненный значительным количеством «нового» свинца, занесенного в песчаники извне.

Возможное происхождение «нового» свинца может быть рассмотрено с учетом данных Н.Буг-

рова, Т.Игнатьевой и В.Гладких [2]. Ими было выявлено избирательное выщелачивание ^{206}Pb из зоны гипергенеза в гранитном массиве Куу-Тау (Центральный Казахстан). По анализам примерно 50 проб, содержание ^{206}Pb в свинце выветрелого гранита составляет 27,86 %, в свинце неизмененного гранита — 28,98 %. При выветривании гранита выщелачиваемая фракция свинца обогащается ^{206}Pb . Логично предположить, что при делювиальном и аллювиальном перемещении терригенного материала обломочной фракции возможность присутствия в них свинца более высоко радиогенного, чем в исходных кристаллических породах, мало вероятна, поскольку некоторая часть свинца с более высоким содержанием радиогенных изотопов уходит из зоны гипергенеза в растворимой форме. Высокая растворимость новообразований ^{206}Pb и ^{208}Pb при распаде U и Th в Zr и других акцессорных минералах известна по процедуре фракционной очистки проб при проведении свинцово-изотопных определений [12].

Базальные песчаники рудоносной толщи юго-востока Миссури относятся к зрелым кластитам. Остаточный свинец таких пород должен отличаться меньшим содержанием радиогенных изотопов, чем свинец пород докембрийского фундамента как источника песчаников. Логика такого предположения следует из того, что, как уже отмечалось, уменьшение содержания Pb, Th и U в песчаниках достигает десятикратного значения по сравнению с породами докембрийского фундамента, но в то же время свинец песчаной толщи отличается значительно большей радиогенностью (см. рис. 4). Такого рода соотношения свинца пород докембрийского фундамента и возникших из них палеозойских базальных осад-

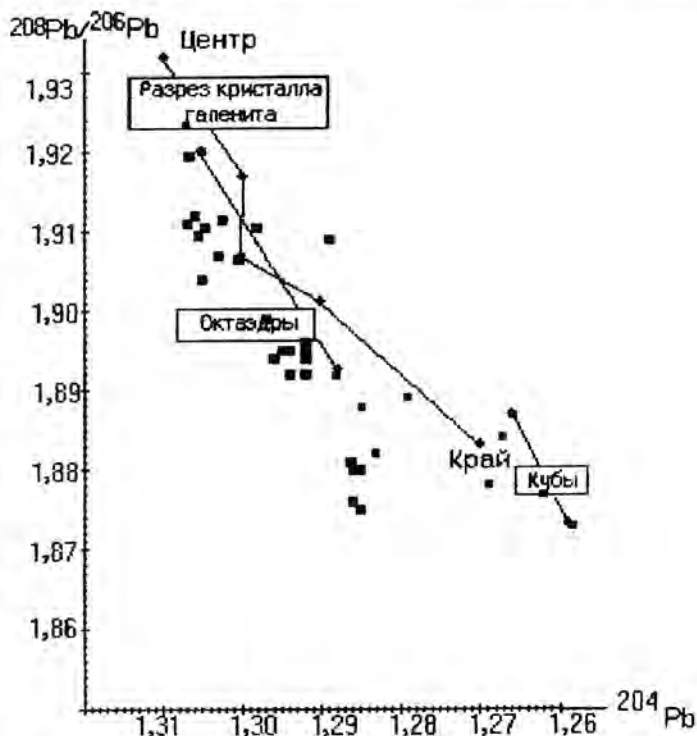


Рис. 3. Диаграмма ^{204}Pb — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ свинца галенитов месторождений свинцового пояса юго-востока Миссури:

октаэдры и кубы — оси роев ранней промышленно главной октаэдрической и поздней кубической форм галенита, по данным работы [11]; ломаная линия — разрез кубооктаэдрического кристалла галенита [17]; рой точечных значений свинца различных рудных тел построен по работе [13]

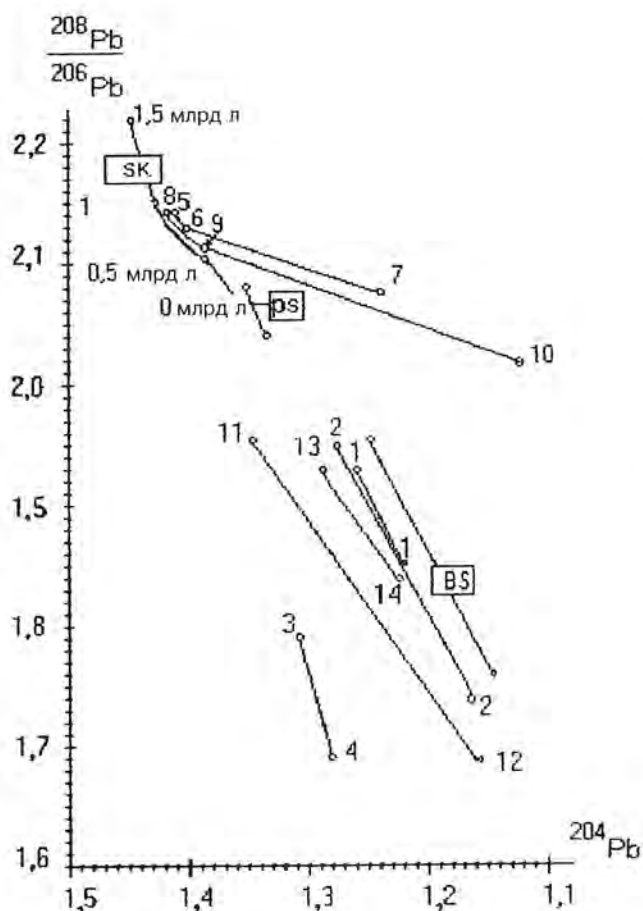


Рис. 4. Диаграмма ^{204}Pb — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ свинца месторождений долины Миссисипи и некоторых типов пород, с использованием данных работ [2, 4, 12]:

осевые линии роев: 1—1 — месторождения района Три-Стейс, 2—2 — месторождения района Висконсин — Иллинойс — Айова; BS — современные осадки Балтийского моря; PS — океанические пелагические илы; точечные значения: порода-остаток-выщелат докембрийских риолитов Озарк 5—6—7 и 8—9—10; остаток-выщелат песчаников Ламмот 11—12 и 13—14; средние значения выветрелого и неизмененного гранита Куу-Тай 3—4

ков не являются исключением и проявлены в современных илах внутренних бассейнов на докембрийском фундаменте типа Балтийского моря и др. (см. рис. 4).

Возможная трактовка повышенной концентрации радиогенного свинца при внутрикратонном терригенном седиментогенезе за счет докембрийских пород исходит из того, что тяжелые металлы переме-

щаются как в твердой, так и растворимой формах. Последняя как составляющая выщелата отличается повышенной радиогенностью. Растворимые формы переходят в осадок в конечном бассейне вследствие сорбционной активности илов.

В заключение следует отметить, что интерпретационное значение свинцово-изотопных определений для металлогенического анализа повышается при использовании топологических признаков роев точечных значений на диаграмме типа ^{204}Pb — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Осевые линии роев имеют на этих диаграммах более контрастно выраженные угловые различия, а изохроны по конкордиям тектоники плит (М, НК и ВК) приобретают вид треугольников, точки в поле которых характеризуются тремя координатными значениями М, НК и ВК.

Геохронологическое положение, анизотропная сублинейная форма и поперечная к конкордии Стейси — Крамерса ориентировка свинцово-изотопных роев на диаграмме ^{204}Pb — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ современных сульфидных «курильшиков» и рудных илов современных морских рифтов определяют рудный свинец этих проявлений как свинец смешения с участием мантийного, ниже- и верхнекорового источников одновременно. К аналогичному типу свинца относится рудный свинец ряда гигантских стратиформных месторождений: Брокен-Хилл, Маунт-Айза, Мак-Артурривер и др. Предполагаемые для свинца этих месторождений формулы смешения зависят от содержания мантийного Pb (в %) 75 (75 М), нижнекоровый — 12,5 (12,5 НК) и верхнекоровый — 12,5 (12,5 ВК) для Мак-Артур-ривера, до 50 М, 20 НК и 30 ВК для Маунт-Айзы. Средний свинец Брокен-Хилла — мантийный не более, чем на 50 %. Роль верхнекорового свинца достигает в нем 50 %.

Рудный свинец типа «Джоплин» с повышенным содержанием ^{206}Pb и ^{208}Pb образуется в условиях терригенной седиментации при эрозии докембрийских пород. Возникающая при этом выщелатная фракция свинца характеризуется более высокой радиогенностью, чем свинец исходных пород. Сорбция и в итоге осаждение выщелатной фракции происходит как в условиях седиментно-гидротермальных систем поздней стадии диагенеза осадочных бассейнов, так и в условиях раннедиагенетических иловых процессов. Характерным примером образований первого вида служат руды Миссисипского типа с повышенным содержанием ^{206}Pb . Второй вид радиогенного плюмбогенеза проявлен в илах современных внутренних бассейнов на докембрийских плитах.

Для рудного свинца полиметаллических месторождений рифтовых зон типичны вариации содер-

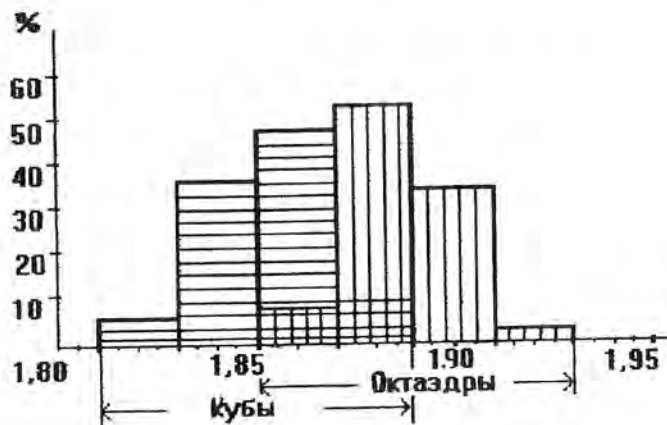


Рис. 5. Гистограммное распределение $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ по 120 определениям в зернах галенита поздней стадии (кубы) и по 210 ранней стадии (октаэдры) в рудах месторождений группы Вайбурн юго-востока Миссури [11]

жания ^{208}Pb . Это связано с колеблющейся ролью нижнекорового материала при рудогенезе. Свинец группы стратиформных месторождений Миссисипского типа, локализовавшихся в связи с эпикратонной седиментно-диагенетической активностью, отличается повышенным и в то же время колеблющимся содержанием ^{206}Pb . Оба типа свинца изотопных вариаций маркируют двойственную природу источников оруденения гигантских стратиформных полиметаллических месторождений в осадочных породах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапова А.А., Бортников Н.С., Чернышев И.В. и др. Изотопный состав свинца современных сульфидных руд в рифтовых зонах бассейнов Манус и Лау (ЮЗ окраина Тихого океана) // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 2. С. 184—190.
2. Бугров Н.М., Игнатова Т.С., Гладких В.А. Изотопный состав свинца гранитов Куу-Тау // Тез. докл. III Всесоюз. симпозиума по применению стабильных изотопов в геологии. М., 1970. С. 98—99.
3. Горжевский Д.И., Макеева И.Г. Стратиформные месторождения цветных металлов // Рудные месторождения (итоги науки). М., 1982. С. 89—97.
4. Дюу Б., Зартман Р. Плюмботектоника фенерозоя // Геохимия геотермальных рудных месторождений. М., 1982. С. 28—70.
5. Попов В.В. Геологические условия экзогенно-гидротермального рудообразования. — М.: Недра, 1980.
6. Рассел Р., Фаркуар Р. Изотопы свинца в геологии. — М.: ИЛ, 1962.
7. Скрипченко Н.С. Прогнозирование месторождений цветных металлов в осадочных породах. — М.: Недра, 1989.
8. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1976.
9. Хейл А., Ландие Дж., Зартман Р. Обзор изотопных данных о происхождении месторождений типа долины Миссисипи // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М., 1977. С. 550—583.
10. Шилов Л.И. Об источнике свинца в стратиформном рудообразовании (по изотопным данным) // Стратиформные рудные месторождения. М., 1987. С. 90—105.
11. Crocetti C., Holland H., McKenna L. Isotopic composition of lead in galenas from the Viburnum trend, Missouri // Econ. Geol. 1988. Vol. 83. P. 355—376.
12. Doe B., Delevaux M. Source of lead in Southeast Missouri galena ores // Econ. Geol. 1972. Vol. 67. № 4. P. 409—425.
13. Deloule E., Allegre C., Doe B. Lead and sulfur isotope microstratigraphy in galena crystals from Mississippi valley-type deposits // Econ. Geol. 1986. Vol. 81. P. 1307—1321.
14. Godwin C., Sinclair A. Average lead isotope growth curves for shal-hosted zinc-lead deposits, Canadian Cordillera // Econom. Geol. 1982. Vol. 77. P. 675—690.
15. Gulson B., Porritt P., Mizon K. Lead isotope signatures of stratiform and stratabound mineralization in the Broken-Hill Block, New South Wales, Australia // Econ. Geol. 1985. Vol. 80. P. 488—496.
16. Gulson B. Shal-hosted lead-zinc deposits in Northern Australia: lead isotope variations // Econ. Geol. 1985. Vol. 80. P. 2001—2012.
17. Hart S., Shimizu N., Sverjensky D. Lead isotope zoning in galena: an ion microprobe study of a galena crystal from Buick mine, Southeast Missouri // Econ. Geol. 1981. Vol. 76. P. 1873—1878.
18. Smirnov V. The sources of ore-forming material // Econ. Geol. 1968. Vol. 63. P. 380—389.
19. Stecey J., Kramers J. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. 26. 1975. P. 207—221.
20. Sverjensky D. The origin of a Mississippi valley-type deposit in the Viburnum trend, Southeast Missouri // Econ. Geol. 1981. Vol. 76. P. 1848—1872.
21. Sverjensky D., Rye D., Doe B. The lead and sulfur isotopic composition of galena from a Mississippi valley-type deposit in the New lead belt, Southeast Missouri // Econ. Geol. 1979. Vol. 74. P. 149—153.

Стратиграфия, региональная геология и тектоника

УДК 552.11 (470.5)

© А.А.Ефимов, 1999

Платиноносный пояс Урала:

тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах

А.А.ЕФИМОВ (Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург)

Платиноносный пояс Урала, известный более 100 лет, считается бесспорным эталоном так называемого зонального типа габбро-гипербазитовых комплексов, критическим признаком которого являются содержащие самородную платину дунитовые «ядра», окруженные концентрическими пироксенитовыми оболочками. Уральский платиноносный дунит идентичен таковому «зональных» комплексов Аляски [23] и платформенных комплексов типа алданских [12, 17], однако в полном объеме установленная для Платиноносного пояса комбинация горных пород и процессов нигде больше не описана, и в этом смысле он уникален. Долгое время Пояс без особого обсуждения рассматривался как цепь затвердевших в верхней коре магматических камер; в 50—60-е годы новые факты привели к появлению трансформистских трактовок, ограничивавших роль магмы в образовании горных пород [7, 19 и др.], но также встретившихся с затруднениями в объяснении петрогенезиса этого уникального объекта. Анахроничные попытки простых объяснений имеют место до сих пор. Так, сообщение об открытии продуктов кристаллизации родоначального расплава — субвулканических гипербазитов с остаточным стеклом [21] — оказалось элементарной петрографической ошибкой [9]. Осознание того факта, что в веществе гипербазитов

и габбро записаны мощные явления высокотемпературной пластической деформации и метаморфизм, отсутствующие в современном геологическом окружении, позволило коренным образом изменить представление о сущности Платиноносного пояса [4, 5]. Согласно этой интерпретации, Пояс есть линейная 900-километровая структура, трассируемая цепью аллохтонных тел (массивов) габбро-гипербазитового состава с тектоническими внешними ограничениями, динамометаморфической структурой и единой метаморфической историей.

Однако такое толкование представляется уже недостаточным. Масштаб и единообразие тектоно-метаморфических событий, записанных в этой цепи, несоизмеримы с видимыми размерами даже самых крупных ее звеньев, из чего следует, что последние суть всего лишь тектонические фрагменты какого-то гораздо более крупного, некогда единого тела, которое нельзя представить иначе как некую *древнюю глубинную зону*, в которой габбро-гипербазитовое вещество претерпело крупномасштабные преобразования. Новые данные, вытекающие главным образом из изучения метаморфизма, позволяют реконструировать общий облик и историю постулируемой глубинной зоны.

Глубинная зона платиноносного пояса: главные ог-

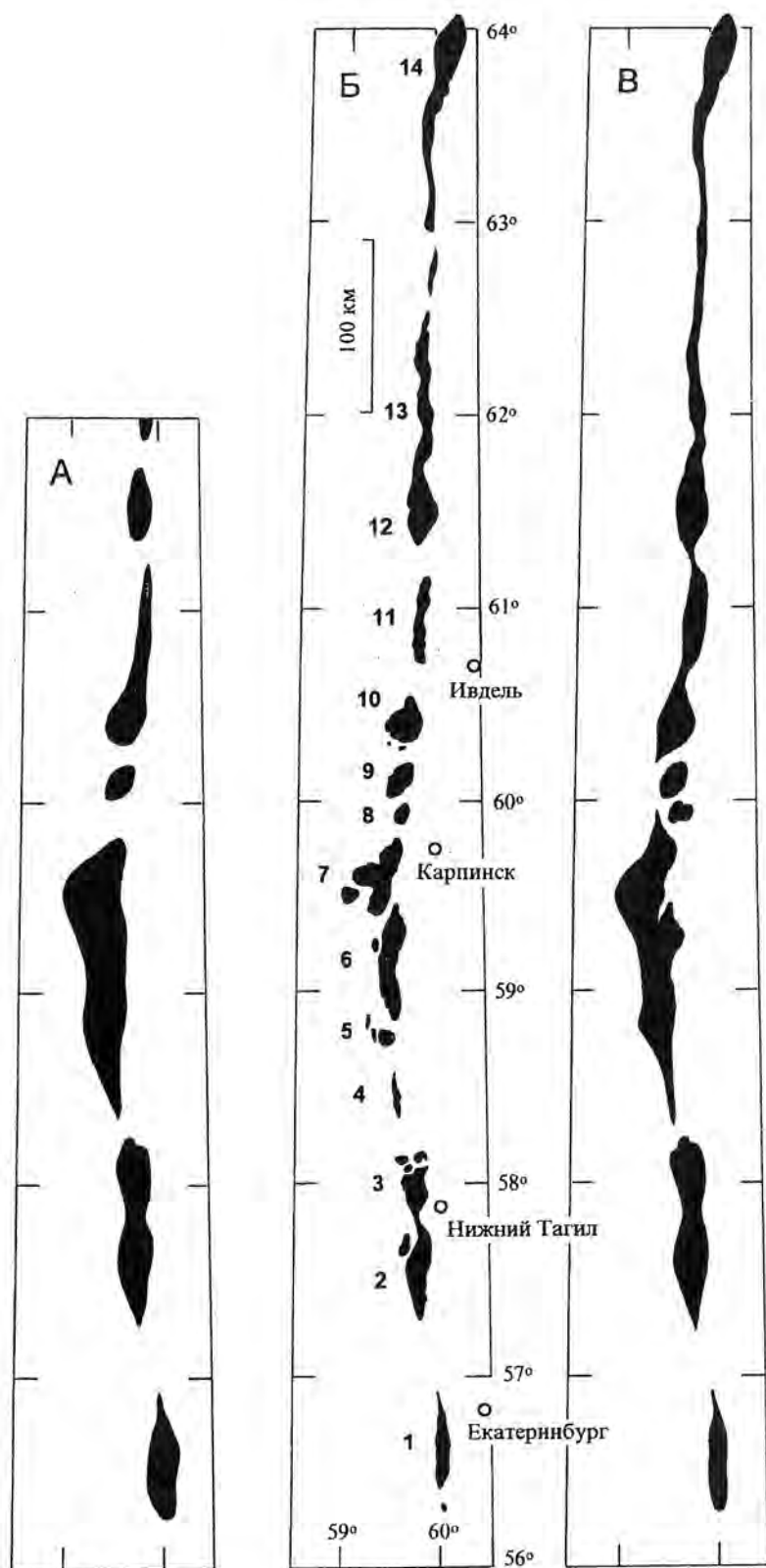


Рис. 1. Схемы, иллюстрирующие изменения в конфигурации Платиноносного пояса Урала в зависимости от степени его изученности и подхода к интерпретации:

А — контуры тел Платиноносного пояса на геологической карте Урала 1930 г. [3]; Б — контуры Пояса на современных картах — результат отделения габбро-гипербазитовых тел от метавулканитов динамотермального ореола; В — интерпретация современных данных: в контуры сегментов Пояса, кроме габбро-гипербазитовых тел, включены метавулканиты высоких фаций (двупироксеновые гранулиты, амфиболиты), интерпретируемые как вещество перемещенных фрагментов глубинной зоны Платиноносного пояса; цифры на рисунке — массивы: 1 — Ревдинский, 2 — Тагильский, 3 — Баранчинский, 4 — Арбатский, 5 — Качканарский, 6 — Павдинский, 7 — Кытлымский, 8 — Княспинский, 9 — Кумбинский, 10 — Денежкинский, 11 — Помурский, 12 — Чистопский, 13 — Ялпинг-Ньерский, 14 — Хорасюрский

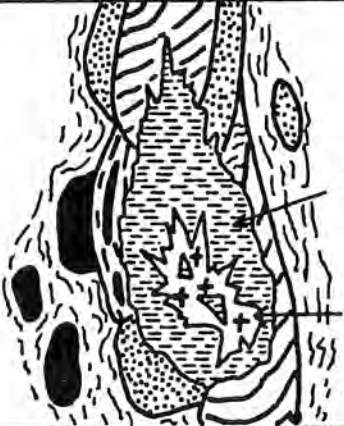
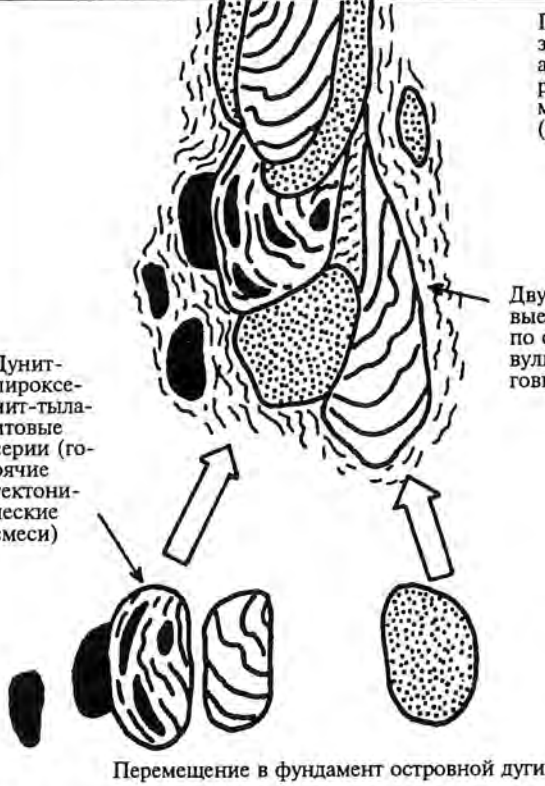
раничения. Конфигурация. По мере детализации геологических карт размеры отдельных массивов 900-километровой цепи Пояса уменьшались, а промежутки между ними увеличивались (рис. 1, А, Б). Это связано, в числе прочего, с отделением от габбро метавулканитов более высоких фаций, чем зеленосланцевая — динамотермального ореола массивов. Однако сейчас снова возможна некоторая генерализация: в контуры массивов, а точнее — фрагментов глубинной зоны следует включить также гранулиты динамотермального ореола («роговики»), аллохтонные гранитоиды и метавулканиты амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. В результате мы получим достаточно обоснованные контуры фрагментов глубинной зоны на современном эрозионном срезе (см. рис. 1, В), сходные с контурами 70-летней давности, когда габбро часто объединялись с метавулканитами высоких фаций (см. рис. 1, А). Эти фрагменты протяженностью 100 км и более разделены лишь небольшими промежутками, сложенными формациями верхней коры. В целом возникает контур почти непрерывного аллохтонного тела с большой сохранностью древней структуры, которое однако едва ли было перемещено на значительное расстояние по вертикали и горизонтали, — оно до известной степени отвечает образу «грандиозного горста», к которому пришел еще Н.К.Высоцкий [2]. Ширина (мощность) зоны, судя по размерам крупнейших массивов, составляла десятки километров. Бесспорная длина Пояса — 900 км, следовательно, длина зоны по простиранию была не менее 1000 км. Однако она могла быть и значительно большей — до 2000 км, поскольку есть достаточно убедительные доказательства присутствия вещества Пояса, в первую очередь богатых Sr габбро в структуре офиолитовых аллохтонов Южного и Полярного Урала [5, 10].

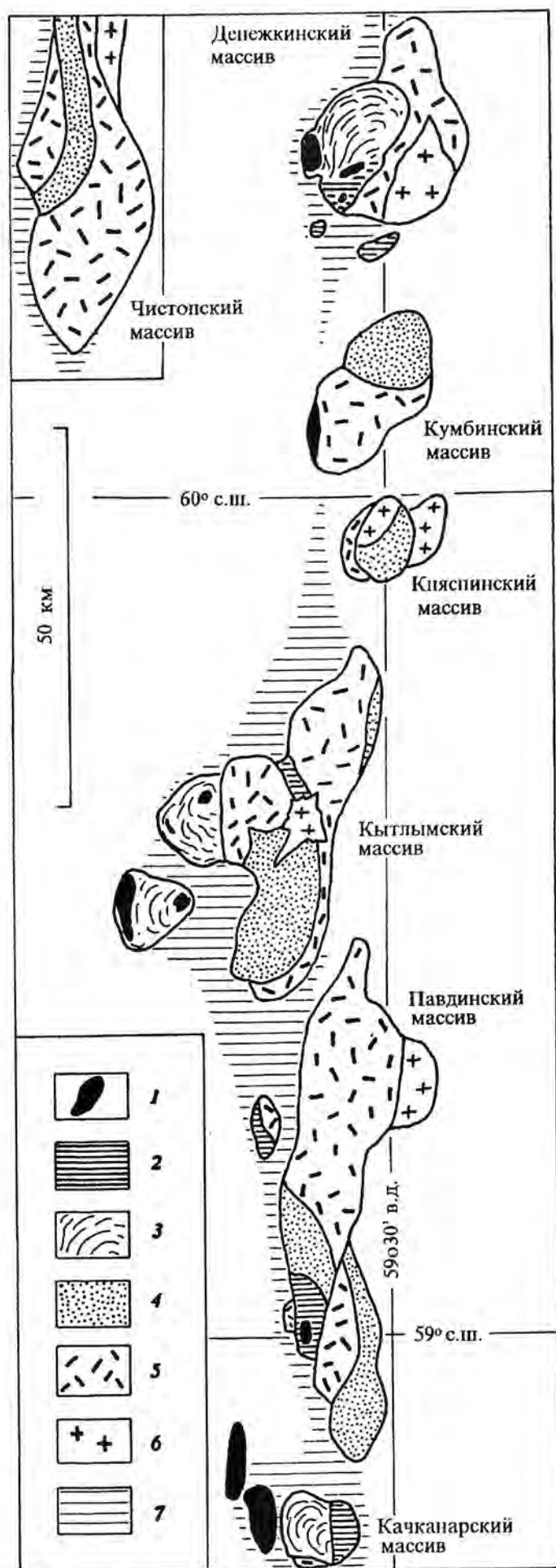
Глубина. В Платиноносном поясе повсеместно распространены габбро с парагенезисом оливин — анортит, устойчивым до давлений $(7+8) \cdot 10^2$ МПа [15], или до глубин, меньших 25 км, поэтому апикальная часть зоны должна была располагаться на еще меньших глубинах; присутствие же в веществе Пояса вулканогенного материала позволяет предполагать глубину кровли зоны, возможно, всего 10–15 км.

Геологическое место. В структуре Пояса как равноправный с габбро-гипербазитовыми телами элемент присутствуют тела вулканитов, метаморфизованных в гранулитовой фации низкого давления (двупироксеновых «роговиков»). Этот материал низов вулканической коры изофациален с метаморфизованными гипербазитами и габбро и деформирован вместе с ними. По-видимому, зона находилась в основании мощного раннепалеозойского вулканического сооружения (островной дуги?).

Первичное вещество зоны, объединенное одной структурой, не имело единого родо-

1. Схема тектоно-метаморфической истории зоны

Эпоха	Главный процесс	Тектонический режим	Фация	Схема эволюции вещества и структуры
V	Перемещение фрагментов глубинной зоны в структуры верхней коры	Сжатие (коллизия?)		 Фрагменты глубинной зоны в структурах верхней коры (разрез)
IV	Гидратация (водный метаморфизм) и генерация гранитоидных жидкостей	Растяжение	$T \approx 700^\circ\text{C}$ $P (3-5) 10^2 \text{ МПа}$ Избыток H_2O Парагенезисы с роговой обманкой	 Глубинная зона в эпоху водного метаморфизма (план) Ареалы водного метаморфизма Гранитоидные интрузии
III	Смена знака тектонических сил		Эпоха тектонического покоя — «большая остановка»	
II	Высокотемпературное пластическое течение, ранний сухой метаморфизм (гранулитовая фация низкого давления), аккреция деформированных блоков Образование высокотемпературных бластомилонитовых серий и горячих тектонических швов Прогрессивный метаморфизм вулканитов нижней коры	Сжатие	$T > 700^\circ\text{C}$ $P < 7 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ Дефицит H_2O Безводные парагенезисы (Ol, Орх, Срх, Pl, оксиды)	 Глубинная зона в эпоху аккреции и раннего метаморфизма (план) Двупироксеновые гранулиты по основным вулканитам (роговики) Дунит-пироксенит-тылаитовые серии (горячие тектонические смеси) Перемещение в фундамент островной дуги
I	Рифтовая предыстория	Растяжение	$T > 700^\circ\text{C}$ $P > 7 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ Дефицит H_2O	 Дунит Ol-Cpx-An Габбро Габбро-норит Первичные комплексы



начального источника [5, 8]. К моменту заложения зоны уже существовали четыре генетически не связанных вещественных комплекса. Комплекс *латиноносных дунитов* идентичен таковому типично платформенных комплексов типа Кондера на Алданском щите. Это мантийное вещество способно внедряться в виде горячих, твердопластичных диапировых интрузий на разные уровни коры (алданские дунитовые массивы интродуцируют даже осадочный чехол древнего щита [12, 17]). Однако механизм его образования недостаточно ясен; здесь мы не можем рассматривать эту проблему. Как и каким образом это типично платформенное вещество оказалось в палеоокеаническом (эвгеосинклинальном) секторе Уральской складчатой области, пока совершенно неясно. Однако достаточно ясно, что это генетически самостоятельный элемент зоны, не обязанный своим происхождением ни одному из других исходных элементов. Тела платиноносного дунита уже на самой ранней стадии своего существования окружены метасоматическими пироксенитовыми оболочками. Происхождение комплекса *оливиновых (оливин-анортитовых) габбро*, не имеющих химического эквивалента среди вулканитов и обнаруживающих массу особенностей, присущих породам высоких фаций метаморфизма, проблематично; есть основания видеть в них продукт декомпрессии мантийного (эклогитового) вещества верхней мантии в зоне континентального рифта [5]. Кристаллизация некоторых их разновидностей (троктолитов) из расплава запрещена экспериментальными данными по модельной системе анортит — форстерит [6]. Их полосатые текстуры («расслоенность») — результат высокотемпературного пластического течения и метаморфической дифференциации [4, 5]. *Лабрадорские ортоклазсодержащие габбро-нориты офитовой структуры*, химически примерно соответствующие глиноземистым толеитам островных дуг, имеют признаки ортомагматической природы [5]. Однако нет геологических доказательств того, что они образуют магматические интрузии в более древней твердой матрице, — все габбро-норитовые тела представляют собой такие же блоки с тектоническими внешними ограничениями, как и тела, сложенные двумя предыдущими комплексами. Попытки понять сущность комплекса *двупироксеновых гранулитов (роговиков)* — от первых упоминаний о «полосатых трапповых гранулитах» [16] до формулировки представления о «динамотермальном ореоле» массивов [5] — заняли несколько десятилетий. Как правило, породы этого комплекса мелкозернисты; им свойственны тонкополосчатые динамометаморфические текстуры; они изофациальны с метаморфизованными габбро. Этот комплекс следует рассматривать как аллохтонный на данном эрозионном срезе гранулитовый комплекс

Рис. 2. Схема структуры Североуральского сегмента Платиноносного пояса; на врезке — структурная схема Чистопского массива, являющегося южным окончанием Приполярноуральского сегмента Пояса (см. рис. 1, Б):

1 — дунитовые тела; 2 — существенно пироксенитовые блоки; 3 — стратифицированные дунит-пироксенит-тыляитовые блоки с концентрической динамометаморфической структурой (бластомилолитовые серии, горячий меланж); 4 — тела оливин-анортитовых габбро, такситовых и с текстурами пластического течения; 5 — блоки исходно габбро-норитового состава; 6 — гранитоидные интрузии; 7 — метавулканы высоких фаций (двупироксеновые гранулиты, амфиболиты, частью диафориты по ним)

низкого давления, образовавшийся по вулканитам низов палеозойской коры [8].

Сонахождение перечисленных элементов представляется скорее случайным, что не исключает их связи в более отдаленной предыстории. Их тектоническое объединение, метаморфизм и химическое взаимодействие привели к возникновению весьма сложного, составного образования — того, что мы сейчас называем Платиноносным поясом. Определение «зональный тип» становится достаточно условным, поскольку приложимо, по существу, лишь к телам платиноносного дунита с пироксенитовыми оболочками. Платиноносный пояс, так сказать, самодостаточен: он может быть отождествлен лишь с самим собой, и применение к нему готовых жестких рамок «формационных типов» бесперспективно.

Источник тепла. Реконструкция условий метаморфизма указывает на низкие давления и высокие температуры от, возможно, 1000 °С в начале до примерно 700 °С в конце существования зоны. Такое сочетание условий, как и отчетливый ретроградный метаморфический тренд (нет никаких признаков образования высокотемпературных минеральных ассоциаций по низкотемпературным, безводным по водным), не свойственно региональному метаморфизму. По-видимому, единственным источником тепла в глубинной зоне были огромные, изначально горячие, медленно охлаждавшиеся в изобарических условиях габбро-гипербазитовые массы. Эти массы не подвергались повторному нагреву; они испытали лишь медленное изобарическое охлаждение от начальных температур, близких к магматическим (возможно, 1000 °С), до температуры высокой амфиболитовой ступени. Таким образом, метаморфизм в данном случае — регрессивный процесс, в известном смысле — аутометаморфизм глубинных масс. Эти же массы были, по-видимому, непосредственной причиной поднятия изотерм в вулканогенных толщах, вмещавших и перекрывавших зону, что привело к образованию по материалу основания вулканогенной коры двупироксеновых гранулитов и амфиболитов. То есть один и тот же источник тепла был причиной регрессивного (габбро и гипербазиты) и прогрессивного (вулканиты) метаморфизма.

Источник водного флюида. Структура и главные вещественные единицы Платиноносного пояса сформировались в «сухих» условиях, без заметных коли-

честв водного флюида, на что указывает отсутствие водных минералов в продуктах ранней эпохи. Однако в конце существования глубинной зоны в монолитную массу деформированных блоков снизу, из корневой области зоны, проникли водный флюид и плагиогранитные выплавки; возникли фиксируемые парагенезисами с роговой обманкой ареалы высокотемпературного водного метаморфизма, безразличные к структурам ранней эпохи. Эта некая ниже расположенная водонасыщенная область, не вскрытая на современном эрозионном срезе, едва ли могла быть чем-то еще кроме как зоной палеозойской субдукции. Ее субдукционная природа подтверждается реконструкцией условий метаморфизма на всем протяжении габбро-гипербазитового пояса Главного Уральского глубинного разлома [10].

Время существования. В последние годы достаточно надежные К-Аг даты (415—432 млн.лет) получены по флогопиту и роговой обманке для горнблендитов Качканарского массива [14]. Для циркона из габбро-норита Кумбинского массива в самое последнее время U-Pb методом возраст составляет 428±7 млн.лет [22]; для габбро-норита из Чистопского массива Sm-Nd методом 419±12 млн.лет [18]. Судя по метаморфическим реакциям, запечатленным в анализированных образцах, все эти цифры отражают время одного и того же события — эпохи высокотемпературного водного метаморфизма, последней в эволюции зоны. Можно предполагать, что глубинная зона существовала как единое структурное и термодинамическое целое длительное время, возможно, с конца ордовика до раннего силура (до рубежа около 420 млн.лет). После этого она была расчленена, а ее мало измененные сегменты были перемещены из области генерации роговообманковых парагенезисов в позицию, близкую к современной. Таким образом, это могла быть находившаяся в основании палеозойской вулканической коры своеобразная зона аккреции и метаморфизма разнородного мантийного и частично корового материала, эволюция которой была связана с таковой главной сuture Урала (Главного Уральского глубинного разлома). Следует подчеркнуть, что она была местом тектоно-метаморфического преобразования первичного вещества, но не местом его генерации, которое остается во многом неясным. Схема тектоно-мета-

2. Классификация продуктов метаморфизма глубинной зоны Платиноносного пояса Урала

Исходный состав	Фация	
	безводная (гранулитовая низкого давления), T>700 °C, P=(3-5)10 ² МПа	водная (амфиболитовая низкого давления), T<700 °C, P=(3-5)10 ² МПа
Оливиновая порода Ol, Crt, Mt, Sp	Оливиновая порода в гранулитовой фации Ol, Crt, Mt, Sp	Оливиновая порода в амфиболитовой фации Ol, Crt, Mt, Sp + H ₂ O
Пироксенит, верлит Ol, Орх, Срх, Мт, Sp	Пироксенит, верлит в гранулитовой фации Ol, Орх, Срх, Мт, Sp	Пироксенит, верлит в амфиболитовой фации Ol, Орх, Срх, Мт, Sp + H ₂ O
Габбро Ol, Орх, Срх, Pl, Мт, Sp, Or, Qu	Габбро (гранулит низкого давления, габбро-гранулит) Ol, Орх, Срх, Pl, Мт, Sp, Or, Qu	Габбро с роговой обманкой (габброподобный амфиболит) Hb, Bi , Ol, Орх, Срх, Pl, Мт, Sp, Or, Qu + H ₂ O
Анортозит Pl	Анортозит в гранулитовой фации Pl	Анортозит в амфиболитовой фации Pl + H ₂ O
Базальт (вулканогенная порода)	Двупироксеновый гранулит (роговик) Орх, Срх, Pl, Мт, Sp, Qu	Роговообманковый гранулит (роговообманковый роговик) Hb, Срх, Pl, Мт, Sp, Qu + H ₂ O

Примечание: минеральные фазы: Ol — оливин, Орх — ортопироксен, Срх — клинопироксен, Pl — плагиоклаз, Or — ортоклаз, Qu — кварц, Мт — титаномагнетит, Crt — хромшпинель, Sp — зеленая шпинель, Hb — обыкновенная роговая обманка, Bi — биотит; выделены шрифтом индекс-минералы амфиболитовой фации.

морфической истории зоны, требующая пояснений, приведена в табл. 1.

История структуры глубинной зоны. Эпоха высокотемпературной аккреции. В истории глубинной зоны отчетливо распознаются две тектонические эпохи. В первую из них, которую можно назвать эпохой «горячей тектоники» или эпохой аккреции (см. табл. 1, эпоха II), в процессе тектонического объединения твердых и горячих тел, в обстановке предельной сухости, тектонического сжатия, значительных скалывающих напряжений и пластического течения возник характерный структурный рисунок зоны: довольно хаотичная мозаика блоков, большей частью крупных, иногда 20—30 км в поперечнике и протяженностью часто десятки километров, имеющих округлую, удлиненную, редко пластинообразную, иногда ромбовидную форму, сложенных либо одним из четырех вышеперечисленных исходных комплексов, либо почти любой их комбинацией и объединенных особыми структурными элементами — древними горячими тектоническими швами [4, 8].

Есть некоторые эмпирические правила сонахождения первичных вещественных комплексов: так, дуниты и габбро-нориты не встречены совместно, в одном блоке. Другие комплексы образуют тектонические смеси одного в другом, иногда очень сложные. Мощные расслоенные дунит-пироксенит-тылаитовые серии, в которых пласты дунита чередуются с порфирикластическими пироксенитами и габбро, представляют собой толщи высокотемпературных тектонитов — пластически деформированную горячую тектоническую смесь, «горячий меланж» двух дискретных компонентов — дунит-пироксенитового и оливин-габбрового. При этом в результате химического обмена появилось бесчисленное количество химических разностей, связывающих крайние типы — оливиновые породы, клинопироксениты и габбро — в один непрерывный химический и петрографический ряд. Для тел «горячего меланжа» характерны концентрические мегаструктуры, часто воронко- и мульдообразные, морфология которых идентична таковой расслоенных интрузий [4, 8].

Эпоха растяжения и гидратации. Структура зоны, созданная в эпоху аккреции, в некоторых массивах Платиноносного пояса сохранилась почти в первоначальном виде (рис. 2). Внутренний структурный рисунок монолитных блоков и связывающие их горячие тектонические швы в большинстве случаев не несут следов более поздней пластической деформации. Следовательно, после эпохи аккреции имел место период тектонической стабильности в изотермических и изобарических условиях — некая «большая остановка». После нее произошла серьезная структурная перестройка, явно связанная со сменой режима сжатия (или тектонического покоя) режимом растяжения. В консолидированной сухой массе деформированных блоков образовались многочисленные разрывы, вдоль которых снизу, из нижележащей водонасыщенной области (зоны субдукции?) проник водный флюид; возникли ареалы водного метаморфизма, безразличные к структурам ранней эпохи и фиксируемые образованием индекс-минерала эпохи гидратации — роговой обманки. Одновременно с флюидом из той же области проникли гранитоидные расплавы, образовавшие в твердой и горячей габбро-гипербазитовой матрице интрузивные тела и жильные штокерки. Все эти явления означают начало эпохи растяжения и гидратации, в общем деструктивной по отношению к эпохе аккреции.

В результате неравномерной проницаемости субстрата сохранились большие реликтовые блоки продуктов ранней эпохи, не затронутые водным метаморфизмом. Условно можно выделить три геологических типа проявлений последнего: рассеянный, линейный и ареальный. Первый — это незакономерно распределенные следы гидратации — каймы, симплектиты, прожилки, пойкилобласты роговой обманки, встречающиеся если не повсеместно, то очень часто. Второй тип свойственен локальным зонам растяжения, более молодым, чем горячие швы ранней эпохи, иногда наследующим последние, — подводящим каналам водного флюида — и фиксируется линейными зонами развития роговообманковых парагенезисов. Примером структуры такого рода может служить мощный шов в Качканарском массиве [8]. В отдельных зонах имели место скалывающие деформации, как, например, в еще более мощном шве Кумбы, где синхронно проявились водный метаморфизм, пластическое течение и гранитизация габбрового субстрата [13]. Наконец, ареальный тип фиксируется обширными полями роговообманковых габбро. Классический ареал такого типа — поле так называемых серебрянских габбро в центральной части Кытлымского массива [7]. Здесь древняя концентрическая структура и полосчатость наследуются без пластического течения новообразованиями эпохи гидратации, а весь ареал представляет собой в структурном отношении, по сути дела, гигантскую брекцию, демонстрирующую тектоническое растяжение, в которой блоки «роговообманковых габбро» (амфиболитов габбрового обломка) цементируются продуктами синхронной с растяжением метаморфической дифференциации — от роговообманковых пегматитов до анортозитов.

Гранитоиды, внедряясь из корневой области глубинной зоны на более высокие уровни, используют пространство, возникшее при раздвижении (расколе) крупных габбро-гипербазитовых блоков, и выполняют образовавшиеся таким путем камеры. Они прорывают все структуры и вещественные комплексы ранней эпохи, в т. ч. и гранулитовый комплекс; однако не отмечено случаев, когда они пересекали бы контакты массивов со слабометаморфизованной вулканогенной «рамой». Гранитоиды так же аллохтонны по отношению к ней, как и сами массивы. Эпоха растяжения и гидратации с синхронным гранитоидным магматизмом — последнее серьезное событие в истории глубинной зоны, после которого последовала фрагментация зоны и перемещение ее отдельных фрагментов на более высокий уровень (см. рис. 1, табл. 1).

История метаморфизма глубинной зоны. В веществе зоны отчетливы следы двух метаморфических эпох: ранней, синхронной с тектонической эпохой сжатия и безводной аккреции (гранулитовой), протекавшей в динамической обстановке, и поздней, связанной с эпохой растяжения и гидратации (водной, амфиболитовой), для которой характерна в общем статическая обстановка. Каждой из них свойственны специфические продукты метаморфизма (табл. 2). Разная интенсивность водного метаморфизма связана в конечном счете с количеством проникшей в безводный субстрат воды, но не с различиями в *РТ*-условиях, которые были стабильны во всем объеме глубинной зоны. Тренд метаморфизма не имеет плавного продолжения в область более низких температур — он резко обрывается на пике амфиболитовой эпохи, что можно связывать скорее

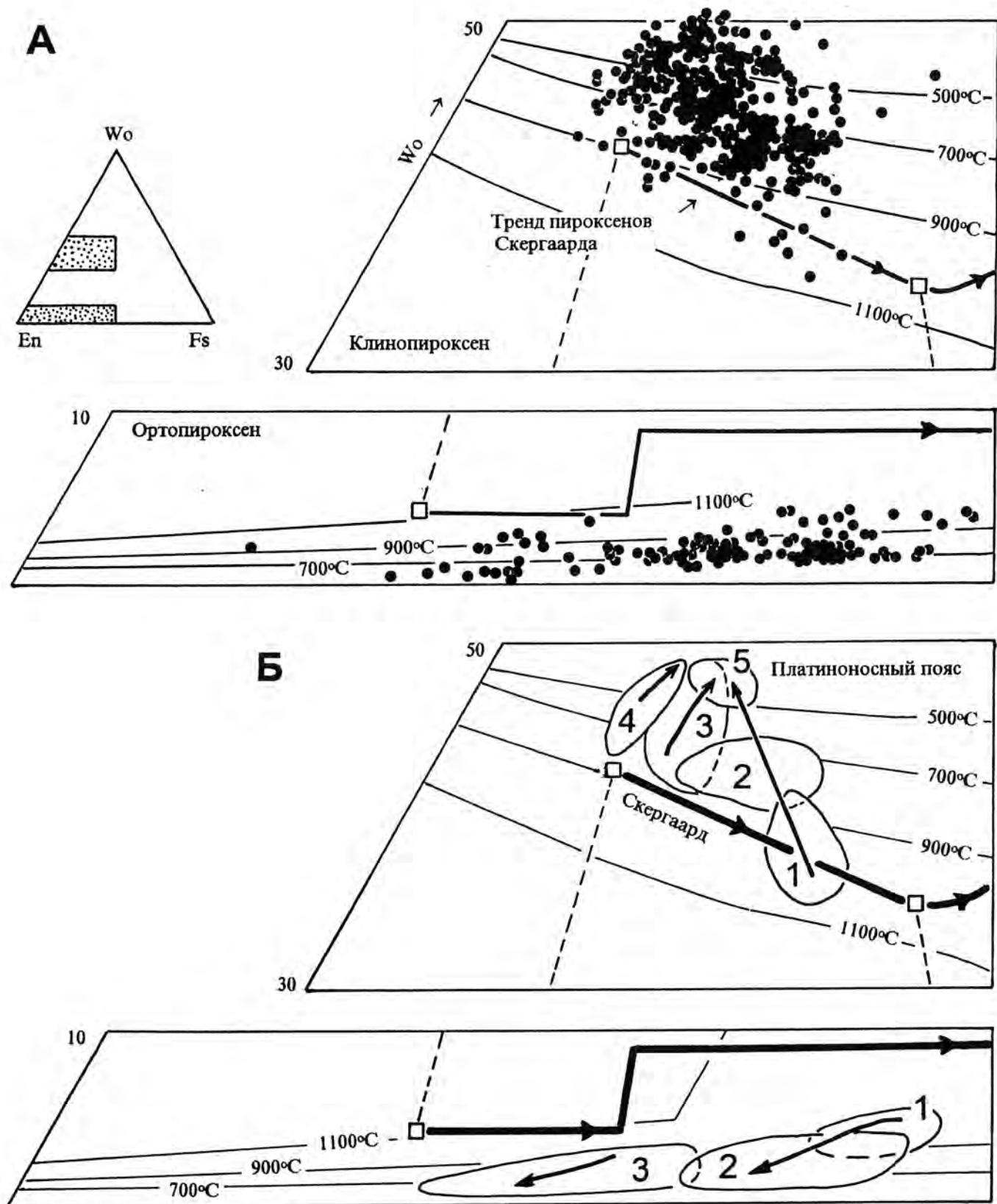


Рис. 3. Тренды метаморфической эволюции пироксенов Платиноносного пояса в «пироксеновом четырехугольнике» En—Di—Hd—Fs:

А — все множество пироксенов (индивидуальные анализы); Б — обобщенное изображение метаморфических пироксеновых трендов; цифры на рисунке — поля пироксенов: 1 — ортомагматических габбро-норитов (реконструкция), 2 — метаморфизованных габбро-норитов и двупироксеновых гранулитов, 3 — оливиновых габбро и тилаитов, 4 — клинопироксенитов и верлитов, 5 — клинопироксенитовогообманковых габбро и горнблендитов эпохи водного метаморфизма; метаморфические тренды Платиноносного пояса не имеют сходства с трендом магматической кристаллизации пироксенов Скергаардской интрузии, изображенным по Л.Уэйджеру и Г.Брауну [20]; изотермы графического пироксенового геотермометра изображены по Д.Линдсли [24] для 1.10^3 МПа

всего с расчленением глубинной зоны и тектоническим перемещением ее фрагментов в толще верхней коры.

Гранулитовая эпоха. Преобразования ранней эпохи выражаются в широком спектре новообразованных метаморфических структур — гранобластовых, бластомилонитовых и др., что связано с рекристаллизацией, обусловленной деформацией и пластическим течением. Новообразованные минеральные парагенезисы состоят из тех же четырех силикатов, что и исходные породы — оливина, ортопироксена, клинопироксена и плагиоклаза — с примесью оксидов (шпинелей, ильменита); редко присутствуют ортоклаз и кварц. Этот тип парагенезисов соответствует гранулитовой фации низкого давления, распознаваемой по ассоциации оливин — анортит, устойчивой до давлений $(7-8)10^2$ МПа [15] и подтверждаемой низкими содержаниями октаэдрического алюминия в пироксенах [1, 11]. По существу, почти все породы этой эпохи можно было бы назвать апогаббровыми и апогипербазитовыми гранулитами низкого давления; однако такая номенклатура слишком непривычна, и пока к ним приходится применять термины габбро и гипербазит с необходимыми пояснениями. Термин гранулит без пояснений применяется лишь к двупироксеновым базитам, образовавшимся по вулканитам.

Интересна тонкая структура низкобарического множества пироксенов Платиноносного пояса (рис. 3). По первичному ортомагматическому габбро-нориту, содержащему бедный Са и железистый (0,7—0,8 форм.ед. и 30—40 %) авгит со структурами распада твердого раствора, образуется широкий спектр двупироксеновых габбро с метаморфическими структурами. По мере рекристаллизации следы распада исчезают, пироксены становятся все более гомогенными. Микрозондовые анализы как матрицы и вростков распавшихся пироксенов, так и гомогенных пироксенов дают в общем близкие цифры. Поле клинопироксена таких модифицированных габбро-норитов и изофациальных с ними гранулитов (см. рис. 3, Б, поле 2) ограничено содержаниями Са 0,8—0,9 и железистостью 25—35 %. Составы бедного Са авгита, полученные путем химического анализа негомогенного пироксена (матрица + вростки), реконструируют состав не сохранившегося «протопироксена» (см. рис. 3, Б, поле 1). Следовательно, два нижних поля пироксенов представляют собой тренд их химической эволюции в эпоху аккреции. Поле 5 отражает эпоху гидратации, в которую на месте лужных габбро, в т. ч. и оливин-анортитовых, образуются габбро так называемого серебрянского типа (габброподобные амфиболиты) с равновесным парагенезисом роговой обманки и клинопироксена, по существу, скарнового типа, имеющего фассаитовый уклон, наиболее богатого Са и наименее железистого (соответственно 0,9—1 и 20—30 %).

Пироксеновый тренд представляет собой равнодействующую двух независимых тенденций, из которых первая, выраженная в понижении взаимной растворимости клино- и ортопироксена, отражает понижение температуры [1], а вторая — окисление железа, вызванное увеличением фугитивности кислорода в эпоху гидратации. Этот метаморфический тренд фиксирует большую часть термической истории Платиноносного пояса — от предположительных 1000 °С для дораспадных реконструированных составов ортомагматических пироксенов и 800—900 °С, записанных в метаморфических пироксенах

эпохи аккреции, до приблизительно 700 °С, зафиксированных в равновесном с роговой обманкой клинопироксене эпохи растяжения и гидратации. Тренд не имеет сходства с классическим трендом Скергаарда [20], обусловленным, как принято считать, фракционированием ликвидусных фаз из магматической жидкости (см. рис. 3, Б).

Амфиболитовая эпоха. Четыре безводных силиката, слагавших субстрат глубинной зоны к началу появления водного флюида, по отдельности в данных условиях устойчивы в присутствии воды. Поэтому все породы без плагиоклаза, а также все мономинеральные породы в данных условиях не имеют особых метаморфических эквивалентов. Однако все габбровые парагенезисы в присутствии водного флюида продуцируют обыкновенную роговую обманку. Ее состав колеблется в довольно широких пределах, но не может быть произвольным, в силу чего, даже в случае избытка воды, образуется только некоторое равновесное ее количество. Сверх этого возникает некоторое количество избыточных фаз, в данных условиях устойчивых, представленных теми же плагиоклазом, богатым Са клинопироксеном, магнетитом, реже оливином и зеленой шпинелью (см. табл. 2). Статистически преобладают более простые, по сравнению с исходными, часто биминеральные (роговая обманка + плагиоклаз) новообразованные парагенезисы. В калиевых габбро-норитах синхронно с образованием роговой обманки имеет место реакция ортоклаз + гиперстен + $H_2O \rightarrow$ биотит + кварц. Таким образом, индекс-минералами амфиболитовой фации в Платиноносном поясе являются роговая обманка и биотит. Все другие минералы, указанные в табл. 2, суть общие, «сквозные» фазы обеих метаморфических эпох (однако, как было показано на примере клинопироксена, состав твердых растворов сквозных фаз существенно меняется).

Таким образом, только габбровые составы могут быть однозначным индикатором метаморфизма высокой амфиболитовой ступени в Платиноносном поясе; в гипербазитах этот метаморфизм не оставляет столь легко различимых следов. Дуниты, к примеру, сохраняют первичный фазовый состав, что производит впечатление отсутствия метаморфизма; в то же время ничтожные по объему габбровые жилы среди массы дунита, метаморфизованные в амфиболитовой фации, указывают на то, что и весь вмещающий дунит преобразован при избытке водного флюида, с чем, возможно, связаны повышенная окисленность акцессорного хромита и перераспределение концентраций самородной платины. Все это позволяет понять, что ассоциация горных пород, обычная для ареалов водного метаморфизма (роговообманковые, диопсид-роговообманковые, реже оливин-роговообманковые габбро, горнблендиты, габбро-пегматиты, анортозиты, пироксениты, верлиты, оливиновые породы), изофациальна.

Водный метаморфизм сопровождается метасоматическими изменениями: габбро-нориты, превращаясь в роговообманковые габбро, базифицируются [7]; известны случаи гранитизации габбро, приводящие, возможно, к селективному плавлению метасоматически подготовленного габбрового субстрата [13]. Наблюдаются случаи десиликации жильных плагиогранитов при взаимодействии с габбро-гипербазитовой матрицей в условиях высокой водонасыщенности с образованием бескварцевых плагиоклазовых пород (плагиаплитов, плагиоклазитов). В зонах плагиаплитового штокверка внушительных

размеров (Кытлымский, Качканарский, Тагильский массивы) плагиограниты десилицируются вплоть до появления нормативного нефелина; габбровая матрица, напротив, гранитизируется; пироксенитовая или дунитовая матрица, в силу устойчивости в присутствии воды, может при этом производить впечатление неметаморфизованной.

Анализ тектонической и метаморфической истории Платиноносного пояса Урала приводит к выводу о том, что Пояс представляет собой не просто некую цепь центров магматической и метаморфической активности в верхней коре и даже не просто линейную зону, в которой сосредоточены деформированные и метаморфизованные габбро-гипербазитовые тела, вдавленные в толщи верхней коры, — Платиноносный пояс можно считать не особенно сильно расчлененным и не очень далеко перемещенным аллохтонным телом, в котором записана тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны мощностью десятки и длиной не менее 1000 км. Такой вывод может иметь, как нам кажется, глубокий геодинамический смысл.

Платиноносный пояс является одним из сегментов габбро-гипербазитового пояса, маркирующего зону Главного Уральского глубинного разлома. Данные по метаморфизму всего этого 2000-километрового пояса говорят о том, что присутствующие в нем габбро-гипербазитовые комплексы офиолитового и «зонального» (платиноносного) типов имели общую тектоно-метаморфическую историю. Причиной этого могла быть древняя зона субдукции, существовавшая в ордовике — начале силура (450—400 млн. лет) на границе палеоконтинентального и палеоокеанического секторов Уральской складчатой области [10]. В Полярноуральском и Южноуральском сегментах субдукционной зоны в процессе ее позднейшей трансформации в общеуральский коллизийный шов были эксгумированы наиболее высокobarические образования — апогаббровые гранулиты и гранатовые амфиболиты. Возможно, что в сегменте Платиноносного пояса высокobarические комплексы не вскрыты, а сам Пояс представляет собой расчлененную и перемещенную верхнюю часть этой древней субдукционной зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 98-05-64482).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.И., Кутюлин В.А. Пороодообразующие пироксены. — М.: Наука, 1971.
- Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исовского и Нижнетагильского районов на Урале // Тр. Геол. Ком. Нов.сер. № 62. 1913.
- Геологическая карта Урала. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. Д.В.Наливкина. — М.—Л.: Геол. изд-во, 1930.
- Ефимов А.А. «Горячая тектоника» в гипербазитах и габброндах Урала // Геотектоника. 1977. № 1. С. 24—42.
- Ефимов А.А. Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. — М.: Наука, 1984.
- Ефимов А.А. Природа троктолитов // Докл. АН СССР. 1985. Т. 281. № 6. С. 1419—1423.
- Ефимов А.А., Ефимова Л.П. Кытлымский платиноносный массив. — М.: Недра, 1967.
- Ефимов А.А., Ефимова Л.П., Маеков В.И. Тектоника Платиноносного пояса Урала: соотношение вещественных комплексов и механизм формирования структуры // Геотектоника. 1993. № 3. С. 34—46.
- Ефимов А.А., Маеков В.И. «Субвулканические ультрамафиты» в Платиноносном поясе Урала: эффект зеленокаменного перерождения плутонической габбро-гипербазитовой серии // Зап. Всерос. минерал. об-ва. 1994. Ч. 123. № 1. С. 131—144.
- Ефимов А.А., Потапова Т.А. Габбро-гипербазитовый пояс Главного Уральского глубинного разлома как цепь фрагментов древней зоны субдукции // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты: Матер. совещ. Т. 1. М., 1998. С. 194—196.
- Ефимов А.А., Потапова Т.А., Берлибле Д.Г., Маеков В.И. Октаэдрический алюминий и натрий в клинопироксене уральских габбро и габбро-гранулитов: роль барического и химического факторов // Ежегодник-1994. Информ. сборник научн. трудов. Екатеринбург, 1995. С. 68—70.
- Ефимов А.А., Таврин И.Ф. О генетическом единстве платиноносных дунитов Урала и Алданского щита // Докл. АН СССР. 1978. Т. 243. № 4. С. 991—994.
- Ефимов А.А., Флерова К.В. Амфиболитовый метаморфизм и гранитизация габброидов Кумбинского массива (Северный Урал) в зоне древнего «горячего» тектонического шва // Докл. АН СССР. 1979. Т. 245. № 1. С. 200—203.
- Иванов О.К., Калеганов Б.А. Новые данные о К-Аг возрасте ультрамафитов Платиноносного пояса Урала // Докл. РАН. 1993. Т. 328. № 6. С. 720—724.
- Кусиро И., Йодер Г.С., мл. Реакции между форстеритом и анортитом при высоких давлениях // Петрология верхней мантии. М., 1968. С. 294—299.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю. О новом месторождении платины на Урале (в Синих горах около Баранчи) // Изв. СПб Политехн. ин-та. 1909. Т. 2. С. 427—428.
- Рожков И.С., Кицул В.И., Разин Л.В., Боришанская С.С. Платина Алданского щита. — М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- Ронкин Ю.Л., Иванов К.С., Шмелев В.Р., Лепихина О.П. Sr-Nd изотопная геохимия и Sm-Nd возраст Платиноносного пояса Урала, Россия // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях: Тез. докл. Междунар. Симпозиума, посвященного 100-летию со дня рождения акад. А.Г.Бетехтина (Москва, 8—10 апр. 1997 г.). М., 1997. С. 300—301.
- Успенский Н.М. О генезисе конфокальных ультраосновных массивов Урала // Петрология и минералогия некоторых рудных районов СССР — М., 1952. С. 54—78.
- Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М.: Мир, 1970.
- Ферштатер Г.Б., Пушкарев Е.В. Субвулканические ультрамафиты в Платиноносном поясе Урала // Зап. Всерос. минерал. об-ва. 1990. Ч. 119. № 1. С. 51—62.
- Bosch D., Krasnobayev A.A., Efimov A.A. et al. Early Silurian ages for the gabbroic section of the mafic-ultramafic zone from the Urals Platinum Belt // EUG9. 23—27 March 1997, Strasbourg (France). Abstr. // Terra Nova. 1997. Vol.9. Abstract Supplement N 1. P.122.
- Irvine T.N. Petrology of the Duke Island ultramafic complex, Southeastern Alaska // Geol. Soc. Amer. Memoir 138. 1974.
- Lindsley D.H. Pyroxene thermometry // Amer. Mineral. 1983. Vol. 68. № 5—6. P. 477—493.

части Северо-Байкальского нагорья (и даже за его пределы) и сохраняется до настоящего времени.

Северная (Джеланжинская) структура (см. рис. 3, а, II) проявлена в амфиболовой пластовой залежи, расположенной к северу от предыдущей структуры. Амфиболиты прорываются тремя небольшими широтными интрузиями. В северной половине структуры устанавливается синклинальный перегиб. Геологи А.С.Непомнящих и Н.П.Мурай рассматривали эту структуру как синклиналь с пластовой интрузией гнейсогранитов в ядре [13], что в действительности имеет место. Л.И.Салоп, как и в предыдущем случае, граниты относит к фундаменту, а всю структуру трактует как купол. Необоснованность такого вывода ясна хотя бы, исходя из более молодого возраста гранитов по сравнению с амфиболитами.

Верхнебогодиктинская структура (см. рис. 3, б) представляет собой периклинальное окончание крутопадающей складки, протягивающейся в юго-западном направлении и постепенно «растворяющейся» в гранитоидах фундамента. Структура во внеш-

ней части подчеркнута породами теоторгинской серии, представленными непрерывно протягивающимися пластовой залежью амфиболитов и пластом гранат-двуслюдяных сланцев со ставролитом и дистеном с прослоями кварцитов. Ядерную часть структуры занимает комплекс биотитовых гнейсов и гранитогнейсов с разной степенью перекристаллизации и микроклинизации. В этом комплексе выделяются три зоны, границы которых конформны стратиграфическим границам пачек пород во внешней части структуры. Эта конформность также подчеркивается пластами амфиболитов, заключенных внутри комплекса гнейсов и гранитогнейсов. Слоистость и сланцеватость во внешней части структуры падают периклинально под углами 60—80°, что может характеризовать ее как антиклиналь. Во внутренней части структуры в мелкозернистых и равномернозернистых гнейсах и гранитогнейсах интенсивно развиты наложенная кристаллизационная сланцеватость и гренуляционный кливаж, параллельные осевой плоскости структуры.

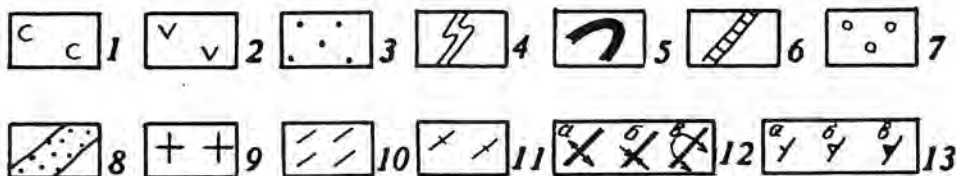
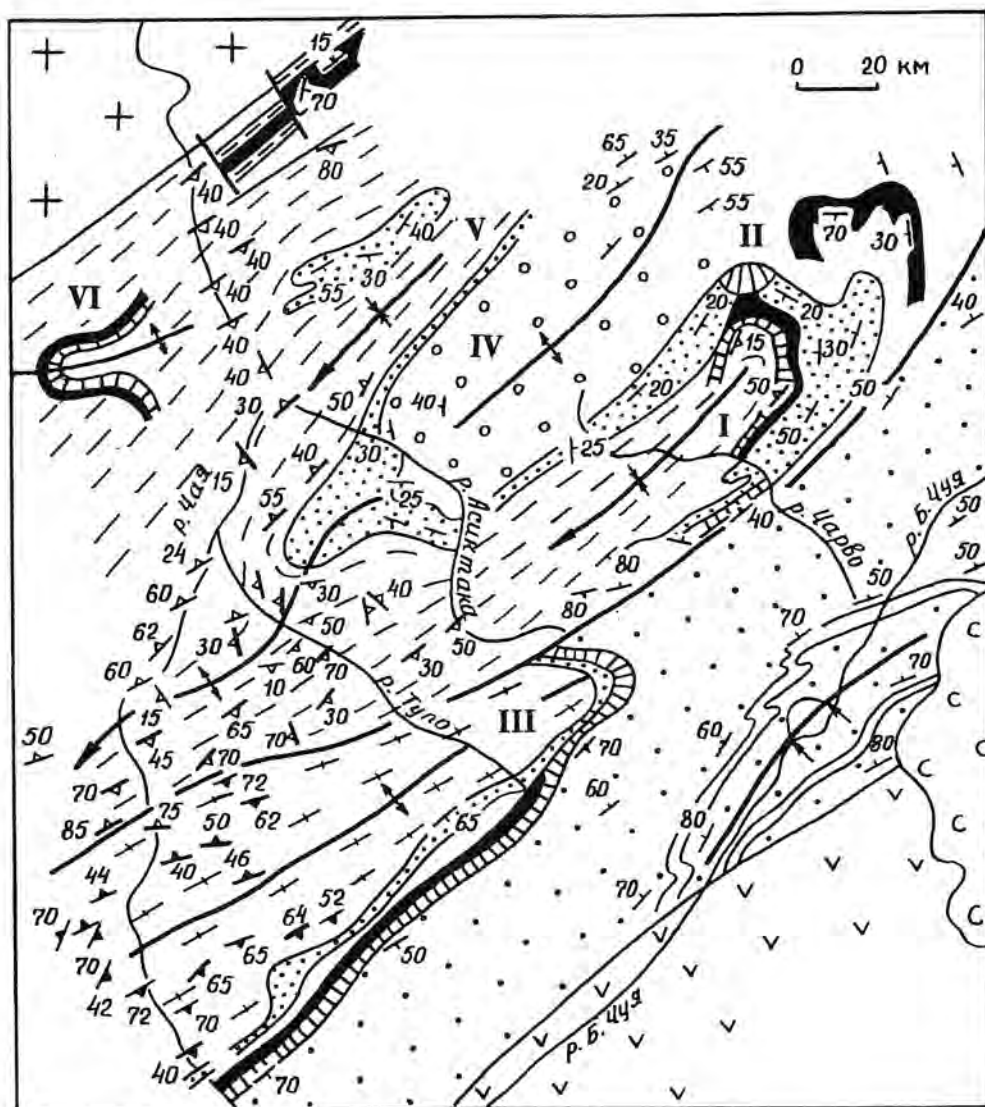


Рис. 2. Складчатые структуры междуречья Чая — Большая Чуя, общий план.

варисский интрузивный цикл: 1 — синныриты (псевдолейцитовые сиениты); **верхний протерозой**: 2 — синнырская толща (андезиты); **олокитская серия**: 3 — песчано-сланцевая толща, 4 — горизонт известняков; **теоторгинская серия**: 5 — кварциты и кварцитопесчаники, 6 — амфиболиты; **серия Центрально-Мамского антиклинория**: 7 — известково-силикатные породы, 8 — глиноземистые сланцы с силлиманитом и дистеном; **нижний протерозой**: 9 — акитканские (ирельские) граниты и граносиениты; 10 — гнейсограниты Чайско-Укучиктинского гранитного поля, 11 — гнейсограниты по породам фундамента в Чайско-Абчадском тектоническом клине; 12 — шарниры и осевые плоскости открытых (а, б) и опрокинутых (в) складок; 13 — слоистость осадочных пород (а), сланцеватость и полосчатость гнейсогранитов Чайско-Укучиктинского гранитного поля (б), то же, в Чайско-Абчадской тектоническом клине (в); I—VI — номера структур, упоминаемые в тексте

От песчано-сланцевой толщи олокинской серии структура отделена разломом с интенсивно развитой зоной бластомилонитов по амфиболитам и диафторитов. Характерны ленточно вытянутые в плоскости милонитизации скопления и монокристаллы граната, диопсида, роговой обманки и кварца. Состав и строение этих скоплений позволяют отнести их к высокотемпературным паракристаллизационным бластомилонитам. Проявлен также более поздний низкотемпературный диафторез с образованием карбонат-хлоритовых сланцев. От Нижнебогодиктинской (Чарвинской) синклинали Верхнебогодиктинская структура также отделена разломом (см. рис. 2).

Структура Асиктака (см. рис. 2, IV) впервые задокументирована и выделена Ю.М.Соколовым [15]. Это антиклиналь с размахом крыльев до 15 км, примыкающая с северо-запада к Нижнебогодиктин-

ской (Чарвинской) синклинали и прослеженная по шарниру, падающему на юго-запад, на 60 км. В ее ядре обнажается свита известково-силикатных пород, перекрываемая пачкой глиноземистых сланцев, выше которых залегают мигматизированные гнейсы и мигматиты. Углы падения крыльев синклинали 30-50°. По Ю.М.Соколову, антиклиналь Асиктака представляет собой юго-западное замыкание Центральной антиклинальной структуры Мамского региона. С северо-запада к антиклинали Асиктака примыкает проявленная в мигматитах Магданская синклинали (см. рис. 2, V). Л.И.Салоп [13] трактовал структуру Асиктака как синклинали на основании ограниченных структурных наблюдений.

Когандинская структура (см. рис. 2, VI) исследована очень слабо. По Л.И.Салопу [13], эта структура представляет сложную мульд с перевернутыми с

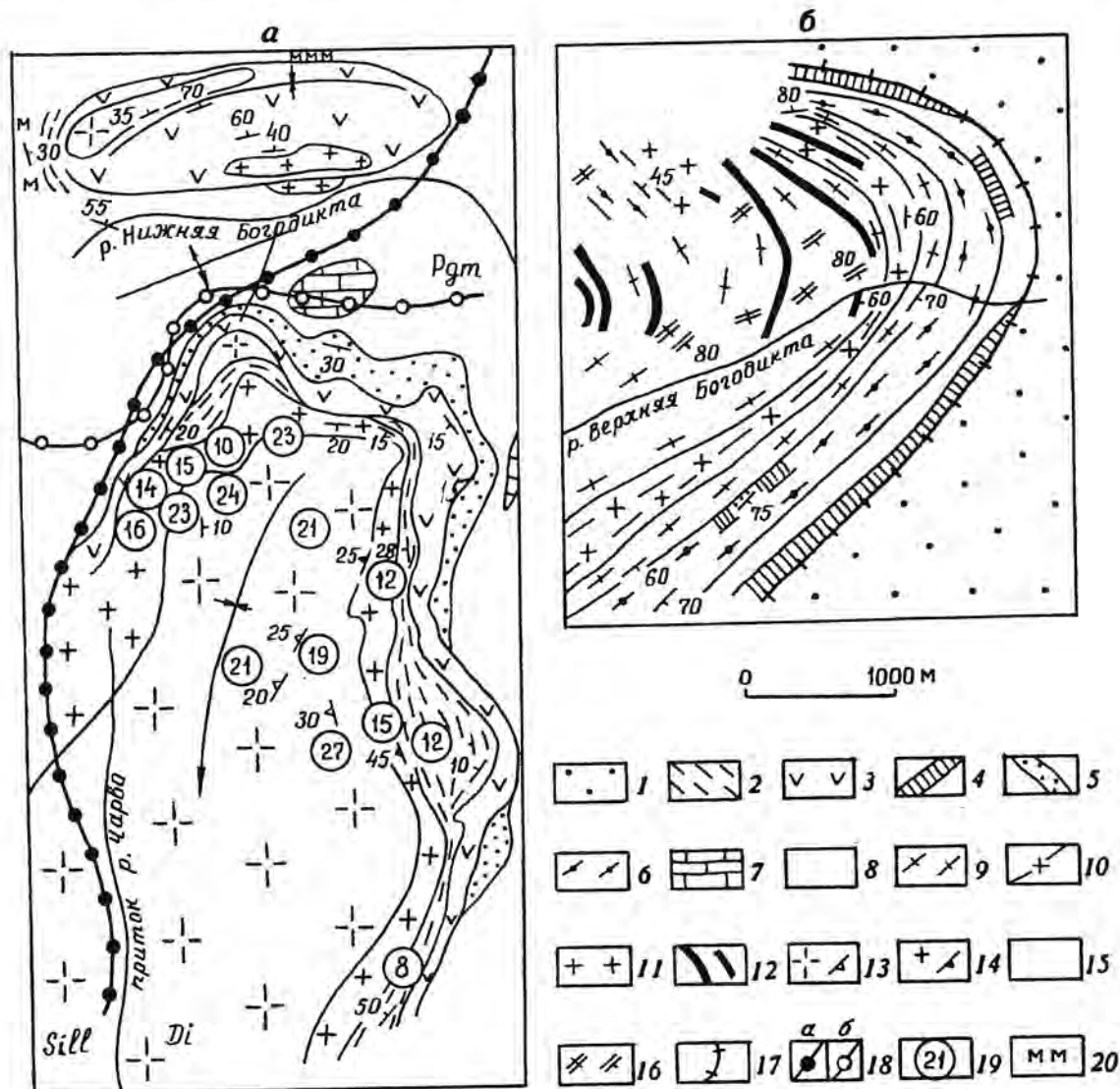


Рис. 3. Складчатые структуры в междуречье Чая — Большая Чуя, детальное строение:

а — Нижнебогодиктинская (Чарвинская) (I) и Северная (Джеланжинская) (II) структуры; б — Верхнебогодиктинская (III) структура; олокинская серия: 1 — песчано-глинистая толща; теппоргинская серия: 2 — мелкозернистые биотитовые гнейсы (метааркозы), 3 — амфиболиты, 4 — бластомилониты и диафториты по амфиболитам, милониты, 5 — кварциты, 6 — гранат-двуслюдяные сланцы со ставролитом и дистеном с прослоями кварцитов; серия Центрально-Мамского антиклинория: 7 — известняки, 8 — биотитовые и двуслюдяные сланцы с дистеном и силлиманитом, песчаники (рис. 3, а); гнейсогранитоидный фундамент: 9 — мелкозернистые и неравномернозернистые биотитовые гнейсы и гранитоиды, 10 — среднезернистые равномернозернистые гнейсы и гранитоиды (рис. 3, а); 11 — ультраметаморфические граниты по гнейсам (рис. 3, б); 12 — амфиболиты; реоморфизованные гранитоиды (рис. 3, а); 13 — крупнозернистые порфиробластические граниты, 14 — среднезернистые равномернозернистые граниты; 15 — слоистость и полосчатость; 16 — вторичная сланцеватость, параллельная осевой плоскости Верхнебогодиктинской антиклинали; 17 — разлом; 18 — изограда дистен-силлиманит (а), южная граница распространения слюдоносных пегматитов (б); 19 — номера плагиоклазов в гранитах; 20 — микроклинизация около Джеланжинской структуры

трех сторон крыльями и куполом посередине. В ее строении участвуют породы тепторгинской серии и известняки. Структура обнажается среди гранито-гнейсового поля, и использовать ее для целей стратиграфии затруднительно.

Таким образом, складчатые структуры междуречья Чая — Большая Чуя представляют единый складчатый ансамбль с чередованием четко картирующихся крупных антиклиналей и синклиналей. Стил и особенности складок этого района аналогичны склад-

кам Центрального антиклинория Мамской кристаллической полосы, продолжением которого на юго-запад он является. В связи с этим структурно-стратиграфические построения Л.И.Салопы [13] требуют пересмотра. Можно перевернуть одну структуру из синклинали в антиклиналь, но перевернуть составляющие весь ансамбль складки в структуры противоположных знаков можно только мысленно. Такой переворот сделан Л.И.Салопом для структур Нижнебогодиктинская и Асиктака, а его последователи [14]

все структуры ансамбля «перевернули» в структуры противоположных знаков (синклинали превратились в антиклинали и наоборот).

Из непредвзятой трактовки складчатого строения района следуют важные стратиграфические последствия. В Нижнебогодиктинской (Чарвинской) синклинали отложения тепторгинской серии залегают на породах свиты известково-силикатных пород, тогда как в юго-восточном обрамлении Чуйского выступа они залегают в основании мамской серии. Поскольку давно признано и доказано, что тепторгинская серия представляет собой региональный маркер, неизбежен вывод, что серия Центрально-Мамского антиклинория более древняя, чем мамская серия в объеме кварцито-гнейсовой свиты и нижней свиты глиноземистых сланцев.

В переходной зоне к Чайско-Укучиктинскому гранитному полю (на правобережье р. Чая) Ю.М.Соколов [15] установил мигматиты по породам мамской серии. Далее на юго-запад встречаются только мелкие фрагменты осадочных пород в гранито-гнейсах, и Чуйско-Укучиктинское гранитное поле геологическому и стратиграфическому расчленению не поддается [7]. Вероятно, оно неоднородно. В его составе возможны как гранитоиды и мигматиты различного возраста, так и породы фундамента, представленные породами гранулитовой фации (верховья р. Кутима) [14].

Верхнебогодиктинская антиклиналь (см. рис. 3, б) занимает особое геологическое положение. Она представляет собой северо-восточное окончание Чая-Абчадского тектонического клина шириной 10–15 км и длиной 115 км, отделенного разломами от Чайско-Укучиктинского гранитного поля (с северо-запада) и олоkitской серии (с юго-востока). Клин сложен гранитами, гранито-гнейсами и гнейсами с фрагментами терригенных пород и прорывается Абчадской гранитной интрузией с изотопным возрастом $(1861 \pm 8) - (1863 \pm 5)$ млн. лет [12], что позволяет отнести гранито-гнейсы, граниты и гнейсы к древнейшему фундаменту. В пределах Чайско-Абчадского тектонического клина отмечены также породы гранулитовой фации — двупироксеновые кристаллические сланцы [14]. В обрамлении Верхнебогодиктинской антиклинали гранитоидный фундамент перекрывается породами тепторгинской серии (см. рис. 2). Тектонический клин прорывается мелкими гранитными интрузиями ирельского комплекса.

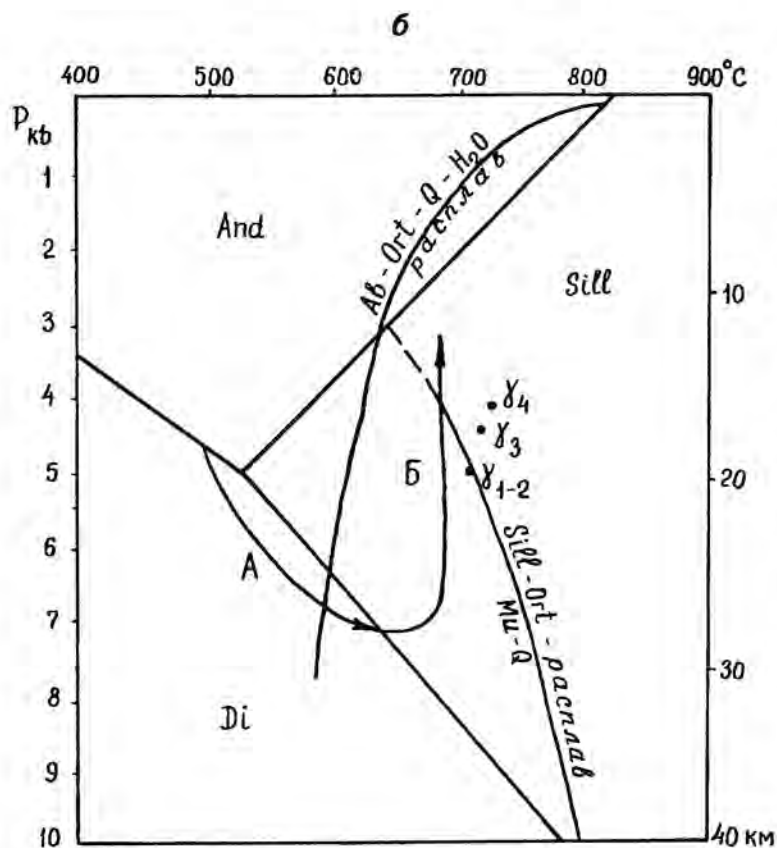
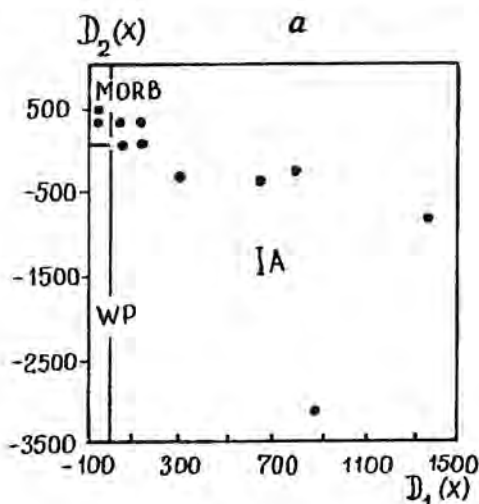


Рис. 4. Дискриминационная диаграмма, разделяющая островолужные IA, внутриплитные WP и базальты срединно-океанических хребтов MORB для пород иорундуканской серии бассейна р. Мама (а); тренды эволюции PT-условий метаморфизма для стадий А, Б в Мамской кристаллической полосе (б):

γ_{1-2} , γ_3 , γ_4 — PT-условия кристаллизации лейкосомы мигматитов разных генераций, по работе [5]

Серия Центрально-Мамского антиклинория (см. рис. 1) протягивается полосой шириной 15—30 км на 200 км от р. Чая до р. Большой Патом. Кроме того, в ее состав включены кавергская подсерия правобережья среднего течения р. Мама, выделенная нами [6] в составе муйской серии, и ряд останцов известково-силикатных пород в мамском гранитном поле (правобережье р. Конкудера, бассейн р. Малая Угля и др.) В юго-западном окончании СЦМА перекрывается породами тепторгинской серии, а в северо-восточной части (в районе р. Тахтыга) оконтуривается структурно и перекрывается породами имнянской и аунакитской свит бодайбинской серии [9]. Состав аунакитской свиты (кварциты, песчаники, гравелиты, конгломераты) отвечает базальным образованиям в седиментационном цикле. В центре антиклинория на водоразделе рек Мамская Брамья, Согдиондон и Чуйский Олоkit выходит массив гранитоидного фундамента, от которого разрез наращивается с юго-запада на северо-восток. В структурном плане серия Центрально-Мамского антиклинория отвечает центральной структурной зоне Мамской кристаллической полосы [4]. Складчатые структуры представлены широкими открытыми складками с пологими шарнирами и по типу близки к отраженным структурам при вертикальных движениях блоков фундамента.

Разрез собственно мамской серии (в предложенном понимании) (см. рис. 1) наращивается на юго-восток и содержит много гранитоидных пластин-отторженцев фундамента. Складчатые структуры представлены средне- и мелкомасштабными изоклиналями, опрокинутыми на северо-запад с интенсивной минеральной линейностью и бороздчатостью в направлении падения толщи. Характерны многочисленные надвиги и срывы. Все эти особенности обнаруживают признаки шарьяжной тектоники с движениями в северо-западном направлении. Мамская серия представляет собой тектоническую пластину и относится к Мамской коллизионной зоне, являющейся частью покровно-чешуйчатых структур на границе Сибирской платформы со складчатым обрамлением Байкальской горной области. Тектонические движения относятся преимущественно к каледонскому времени. Граница мамской серии с серией Центрально-Мамского антиклинория устанавливается по исчезновению элементов шарьяжной тектоники. Вместе с тем, это внутренняя тыловая граница распространения покровно-чешуйчатых структур на юго-восток.

Юго-восточный фланг Мамской кристаллической полосы представлен олоkitской серией, состоящей из песчаников, сланцев и известняков. А.Н.Нееловым [8] по ритмичной слоистости установлено опрокинутое залегание серии по разрезу устье р. Каверги — р. Мамский Довгакит. В основании серии А.Н.Неелов выделяет свиту кварцито-песчаников, которая по стратиграфическому положению отвечает тепторгинской серии. В соответствии с этими геологическими данными можно считать, что породы олоkitской серии залегают на породах серии Центрально-Мамского антиклинория. Контакт между этими сериями принимается тектоническим, однако прямые доказательства отсутствуют. Поэтому граница серий проводится примерно по грубозернистым песчаным породам. Отложения олоkitской серии представляли собой самостоятельный бассейн и не соединялись со своим стратиграфическим аналогом — отложениями бодайбинской серии Патом-

ского нагорья, т.к. их разделял массив пород серии Центрально-Мамского антиклинория, многочисленные останцы которых обнажаются в пределах Мамского гранитного поля. Геотектонически олоkitская серия представляет собой рифтогенную троговую структуру на континентальной коре.

К отложениям олоkitской серии относится также полоса пород (в основном известняков) на границе мамской серии и серии Центрально-Мамского антиклинория, обнажающихся в узкой протяженной синклинали, рассекаемой р. Большая Чуя (см. рис. 1). Эта синклиналь, по данным Ю.И.Сычева, продолжается на северо-восток до р. Мама, где именуется Кевакто-Яшкинской.

Возраст гранитоидов фундамента, представленного Слюдянским отторженцем внутри мамской серии, составляет 2020—2114 млн. лет [1, 11]. С другой стороны, ирельские гранитоиды, входящие в состав Северо-Байкальского вулканоплутонического пояса с возрастом 1820—1870 млн. лет [11] нигде не прорывают породы ни мамской серии, ни серии Центрально-Мамского антиклинория. Следовательно, нижний возрастной предел мамской толщи моложе 1820—1870 млн. лет. Нижняя граница олоkitской серии определяется также в 1860 млн. лет [12]. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что олоkitская и мамская серии формировались субсинхронно. Верхний предел ограничивается возрастом кварцевых порфиров сыннырской свиты, прорывающих породы олоkitской серии, — 700 млн. лет [11].

Нижняя и верхняя границы, определяемые по изотопно-геохронологическим данным, очерчивают очень большой диапазон времени, в котором действительное формирование серии было, несомненно, резко сужено. С этой точки зрения представляет интерес возраст чайской свиты (верха аkitканской серии), определяемый по Pb-изотопной системе полевых шпатов в 1300 млн. лет [11]. Если принять эту цифру за реальный нижний возрастной предел мамской и олоkitской серий, то их формирование придется отнести к среднему — позднему рифею. Возраст серии Центрально-Мамского антиклинория определяется тогда не выше раннего — среднего рифея.

Район распространения мамской кристаллической полосы и прилегающих к ней комплексов на уровне средне-позднерифейского времени формировался как окраинная зона перехода континента к океану. В разрезе с северо-запада на юго-восток (см. рис. 1, б) выявляются склон континента (Чуйский гранитоидный массив), мелководное окраинное море с песчано-глинистыми осадками (мамская серия), геантиклинальное поднятие (серия Центрально-Мамского антиклинория), отделяющее мелководье от глубоководного желоба, заполненного известково-глинисто-песчанистыми отложениями (олоkitская серия), и островодужный комплекс, представленный вулканами и основными породами, отвечающими по составу базальтам островных дуг (муйская или нюрн-дуканская серия) (рис. 4). Островодужный комплекс указывает, вероятно, на рифейскую зону субдукции. В результате поддвигания океанической коры под континентальную и давлению на северо-запад породы олоkitского комплекса были приведены в опрокинутое положение и над зоной субдукции внедрились дайки (или пластовые интрузии) диабазов, прорывающие породы олоkitской серии на всем ее протяжении от р. Конкудера до верховьев р. Тья.

Зональный метаморфизм дистен-силлиманитовой фациальной серии Мамской кристаллической полосы

можно подразделить на две стадии на основании следующих данных. Конформные изограды биотит — гранат — дистен — пегматиты прослеживаются по всему южному флангу Мамской кристаллической полосы. В этой зональности изограда дистена ведет себя неоднозначно: в бассейне р. Мама она располагается между изоградой биотита и граната [8], а в бассейне р. Чуя — между изоградой граната и пегматита (см. рис. 1). Раннее появление дистена Д.А.Великославинский [4] объяснял повышенным содержанием глинозема в метаморфизованных сланцах.

В противоположность этому изограда силлиманита ведет себя по-особому: в междуречье Чая — Чуя она пересекает изограду пегматитов, а в районе близ устья р. Конкудера также изограду граната, т.е. является более поздней относительно основной метаморфической зональности. Секущее положение изограды силлиманита отмечено ранее [6]. В районе левобережья среднего течения р. Большая Чуя изограда силлиманита падает на восток под изограду дистена, что видно из ее траектории в условиях горного рельефа. Это может объясняться более высокотемпературными условиями кристаллизации минеральных ассоциаций с силлиманитом, чем ассоциаций с дистеном. Изограды силлиманита ограничивают Чая-Укучиктинское и Мамское гранитные поля, образование которых тесно связано с условиями плавления в *PT*-поле силлиманита.

Тренд эволюции *PT*-условий метаморфизма прослеживается в виде двух стадий (см. рис. 4, б). Стадия А — основная метаморфическая зональность. По гранат-биотитовой и гранат-ставролитовой парам *PT*-условия перехода от зеленосланцевой к эпидиот-амфиболитовой фации характеризуются температурами 520—530 °С и давлением $(4\pm 4,3)10^2$ МПа. Для амфиболитовой фации $T\ 560\text{—}580\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P\ (6\pm 6,5)10^2$ МПа [10]. Стадия завершается активным внедрением пегматитов, что указывает на переход линии солидуса в условия дистен-биотит-ставролитовой субфации (см. рис. 4, б). Метаморфические преобразования в стадии А происходят в условиях прогрессивно возрастающих температуры и давления.

Стадия Б — силлиманит-ультраметаморфическая. В породах силлиманитовой зоны к западу от изограды силлиманита ассоциации силлиманита с мусковитом последовательно сменяются ассоциациями силлиманита с калиевым полевым шпатом. Температура этого перехода определяется Д.А.Великославинским [2] по гранат-биотитовому термометру примерно в 670 °С и совпадает с переходом линии инвариантного равновесия мусковит — кварц = силлиманит — ортоклаз — расплав (см. рис. 4, б) при давлении около $4\cdot 10^2$ МПа. Начинаются интенсивное дифференциальное плавление и образование ультраметаморфических гранитоидов. По данным В.А.Глебовицкого [5], для ладожской серии Балтийского щита давление при образовании последовательно возникающих генераций лейкомы мигматитов падает с 5 до $3\cdot 10^2$ МПа при температуре около 680 °С. Примерно такие *PT*-условия ультраметаморфизма можно предполагать и в нашем случае. Процесс изотермический при прогрессивной декомпрессии.

Переход от стадии А к стадии Б характеризуется резкой сменой положений источников тепла — от регионального до локального в зоне Чая-Укучиктинского и Мамского гранитных полей. Изограды метаморфической зональности обеих стадий обрываются контактами варисийских гранитоидов.

Две стадии метаморфизма прослеживаются и геохронологически. Первую из них (основная зональность)

можно отнести к раннепалеозойской, отвечающей наложенному метаморфизму в чуйских гранитах — 586 ± 41 млн. лет [11] и 473 ± 23 млн. лет [1], а также кристаллизацией субсинхронных гранитов лесного комплекса — 556 ± 16 млн. лет [1]. Вторая стадия (силлиманит-ультраметаморфическая) фиксируется точно — возраст гранитоидов мамско-оронского комплекса 354 ± 12 млн. лет [12], т.е. герцинский.

В ряде публикаций декларируется, что к западу от изограды силлиманита располагается зона андалузит-силлиманитовой субфации метаморфизма. Автор не обнаружил в литературе по этому району ни одной точки в метаморфических породах, где была бы встречена ассоциация с андалузитом, ни сам андалузит. М.М.Мануйлова [7] упоминает андалузит в числе второстепенных минералов жил редкометалльных пегматитов. Вместе с тем она считает андалузит критическим минералом кордиерит-антофиллитовой субфации исследованного района. Эта субфация распространена только в пределах Чая-Абчалского кристаллического клина раннепротерозойского фундамента. Жилы редкометалльных пегматитов прорывают породы олоkitской серии в районе среднего течения р. Чая (ниже устья р.Олоkit), так что их возраст сопоставим с возрастом слюдоносных пегматитов мамской толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухаров А.А., Халилов В.А., Страхова Т.М., Черников В.В. Геология Байкало-Патомского нагорья по новым данным уран-свинцового датирования акцессорного циркона // Геология и геофизика. 1972. № 12. С. 29—39.
2. Великославинский Д.А. Сравнительная характеристика регионального метаморфизма умеренных и низких давления. — Л.: Наука, 1972.
3. Великославинский Д.А., Казаков А.Н., Лобач-Жученко С.Б., Мануйлова М.М. Геология северо-восточной части Северо-Байкальского нагорья // Тр. лаборатории геологии докембрия. 1957. Вып. 7. С. 120—229.
4. Великославинский Д.А., Казаков А.Н., Соколов Ю.М. Мамский комплекс Северо-Байкальского нагорья. — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1963.
5. Глебовицкий В.А. Тектоника и региональный метаморфизм раннего докембрия восточной части Балтийского щита // Региональная геология и металлогения. 1993. № 1. С. 7—24.
6. Казаков А.Н. Взаимоотношение мамской серии с муйским комплексом и метаморфизм // Региональный метаморфизм докембрийских формаций СССР. 1965. С. 102—114.
7. Мануйлова М.М., Васильевский Д.П., Гурулев С.А. Геология докембрия Северного Прибайкалья. — М.-Л.: Наука, 1964.
8. Неелов А.Н. Стратиграфия, структура и метаморфизм докембрия среднего течения рр. Мамы и Большой Чуи // Тр. лаборатории геологии докембрия. 1957. Вып. 7. С. 268—308.
9. Неелов А.Н., Подковыров В.Н. Корреляция экзогенных и эндогенных процессов в докембрии Байкало-Патомского нагорья // Геодинамические исследования. М., 1979. № 5. С. 47—61.
10. Неелов А.Н., Подковыров В.Н. Структурная и метаморфическая эволюция Байкало-Патомской складчатой системы // Метаморфизм докембрия в районе Байкало-Амурской магистрали. Л., 1983. С. 181—198.
11. Неймарк Л.А., Ларин А.М., Немчин А.А. и др. Анаэрогенный магматизм Северо-Байкальского вулканоплутонического пояса: геохимические, геохронологические (U-Pb) и изотопные (Pb, Nd) свидетельства // Петрология. 1997.
12. Неймарк Л.А., Рыжк Е.Ю., Левченко О.А. и др. О раннепротерозойском-позднерифейском возрасте пород олоkitского комплекса (Северное Прибайкалье) по данным цирконового геохронологии // Геология и геохронология докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. 1990. С. 206—222.
13. Салоп Л.И. К стратиграфии и тектонике докембрия Мамско-Чуйского слюдоносного района (Северо-Байкальское нагорье) // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1974. Т. 199. С. 83—143.
14. Сизых А.И. Петрология метаморфических поясов Северного Прибайкалья. — Новосибирск: Наука, 1985.
15. Соколов Ю.М. Региональный метаморфизм и пегматитовность мамской серии водораздела рек Чаи и Большой Чуи (Северо-Байкальское нагорье // Региональный метаморфизм докембрийских формаций. 1965. С. 115—139.

Изотопный возраст палеозойских вулканитов Красноярского поднятия и проблемы стратиграфии быскарской серии

А.Г.РУБЛЕВ, Ю.П.ШЕРГИНА (ВСЕГЕИ), Е.И.БЕРЗОН, В.Е.БАРСЕГЯН (ГП «Красноярскгеолсъемка»), О.А.ЛЕВЧЕНКОВ, С.С.ЯКОВЛЕВА (ИГД РАН)

В центральной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО) значительно распространены вулканогенные породы, включенные в состав широко известной быскарской серии. Наиболее полно эти отложения представлены в пределах наложенных впадин минусинского типа и их непосредственном горном обрамлении.

Быскарская серия была выделена в 1958 г. Е.А.Шнейдером и Б.М.Зубкус на правобережье р. Енисей в районе с. Быскар [11]. Она сложена эффузивами кислого, среднего и основного состава нормального и щелочного типа, их туфами, туфобрекчиями и туфолавами, а также прослоями осадочных пород: песчаников, конгломератов, алевритов, реже известняков. Породы серии трансгрессивно залегают на размытой поверхности ниже- и допалеозойских отложений и перекрыты с признаками перерыва свитами живетского яруса. В осадочных прослоях найдены растительные остатки: *Protobariophyton obrutschevi* Anan., *Psilophytes rectisimium* Hoeg, *Drepanophycus spinaeformis* и другие девонского возраста. К быскарской серии в различные годы относились практически все палеозойские вулканогенные образования Минусинских впадин.

Изучением Минусинских впадин занимались многие исследователи, которыми предлагались различные схемы расчленения быскарской серии. В 60-е годы наиболее широко использовалась схема Е.А.Шнейдера и Б.П.Зубкус, на основе которой в 1964 г. была составлена Минусинская стратиграфическая схема девона для АССО. Эта схема, в отличие от предыдущих, содержала элементы формационного подхода к изучению вулканогенных образований. Согласно ей, осадочно-вулканогенные образования быскарской серии расчленялись на три свиты: имирскую, шунетскую и тонскую. В 1977 г. В.М.Гавриченко и А.П.Косоруковым при проведении групповой съемки масштаба 1:50 000 для расчленения вулканогенных образований Минусинских впадин была предложена несколько иная схема, в основе которой лежали представления о циклическом развитии тектоно-магматического процесса. Предлагая эту схему, авторы достаточно убедительно аргументировали преимущество тектоно-стратиграфического метода, который в сочетании с формационно-фациальным анализом разрезов позволил по-новому провести расчленение вулканогенных образований. По их схеме, последние расчленялись на три серии: имирскую, тонскую и абаканскую, которые и соответствовали тектоно-магматическим циклам. Каждый цикл начинался извержением основных эффузивов и заканчивался кислыми. Внутри циклов выделялись магматические формации. В 1982 г. схема с небольшими изменениями была включена в «Унифицированную региональную стратиграфическую схему девонских отложений Алтае-Саянской области» [5]. Этой схемой успешно пользовались многие геологи, которые в зависимости от района работ в составе вулканогенных серий и циклов выделяли свиты и толщи под местными названиями.

Возраст палеонтологических остатков, обнаруженных в осадочных прослоях среди вулканитов Минусинских впадин, определялся неоднократно. Долгое время А.Р.Ананьев, В.И.Краснов и другие доказывали раннедевонский возраст этих остатков. Н.М.Петросян и его сторонники относили их к среднему девону. Существовала и точка зрения о принадлежности по крайней мере части вулканогенных разрезов к силуру — девону [11].

В дальнейшем, при проведении крупномасштабных геолого-съемочных работ список палеонтологических остатков дополнился новыми находками. В частности, на Копьевском поднятии в осадочных прослоях копьевской толщи А.П.Косоруковым были найдены растительные остатки, принадлежащие, по определению С.А.Степанова, к виду *Chakassiophyton Krasnovii* Anan. зиген-раннеэмского возраста. Позднее, на Солгонском поднятии при проведении ГПС-50 нами в осадочных прослоях кузьминской толщи были найдены растительные остатки *Ienisseiphon rudnevae* (Peresvatow) Ananiev, возраст которых, по мнению А.Р.Ананьева и Т.В.Захаровой, определяется как зиген-эмский. В связи с этими находками в последнее время доминировало представление о раннедевонском возрасте вулканитов. Однако этот вывод, строго говоря, справедлив только для пород, которые залегают среди палеонтологически охарактеризованных осадочных отложений, заполняющих впадины. Основная же масса вулканических пород, относимых к быскарской серии, сосредоточена в обрамлении впадин. Для них вопрос о возрасте решался по аналогии составов с вулканическими породами впадин (несмотря на их разнообразие), с помощью единичных отпечатков растений и данных споро-пыльцевого анализа осадочных прослоев в вулканогенных толщах и, в меньшей степени, усредненными К-Аг датировками по валовым пробам [4, 10].

Подобная аргументация не всегда достаточна для правильного установления возраста, что и было нами показано при изотопно-геохронологическом изучении вулканических пород агуйской свиты (Агуйский прогиб), однозначно сопоставляемых с имирской свитой Северо-Минусинской впадины [10]. Для этих пород вполне надежно установлен ордовикский возраст — не менее 440—450 млн. лет [9]. В этой же работе обсуждались возможные причины расхождения выводов изотопных и геологических исследований и некоторые следствия из полученных результатов, главный из которых заключался в неизбежности корректировки сложившихся представлений о возрасте вулканитов быскарской серии. Из этого вытекает и необходимость нового решения всех проблем стратиграфии вулканитов быскарской серии и, в частности, распространности вулканитов различного возраста, уточнение последнего для основных полей их развития, корреляции вулканических и интрузивных пород и др. Именно поэтому работы по корректному изотопному датированию вулканитов быскарской серии в отдельных районах ее выделения и распространения, в т.ч. и в местах ее точной стратиграфической привязки были продолжены. Некоторые итоги этих исследований и являются предметом данной статьи.

Объекты исследования. Для выяснения возникших вопросов были изучены три объекта, традиционно

относящиеся к быскарской серии. Один из них представляют вулканогенные образования Качинско-Лиственского выступа, расположенного на северо-западной оконечности Красноярского поднятия. Второй объект представляют вулканические породы в береговых обнажениях р. Енисей (енисейский разрез) на юго-западном склоне Красноярского поднятия, являющегося одновременно и северо-восточным обрамлением Северо-Минусинской впадины. Оба объекта входят в состав обширного поля палеозойских вулканитов севера центральной части АССО (рис. 1). Третий объект представляют субвулканические породы Тимиртасской синклинали (Таштыпский район, юго-западное замыкание Южно-Минусинской впадины), возраст которых фаунистически

надежно определяется окончанием эмса. Итоги их датирования составляют предмет отдельной работы [7] и будут использованы только при обсуждении результатов.

Кроме вулканитов нами исследовались три интрузивных массива шумихинского комплекса, один из которых (Лиственский) прорывает вулканические породы Качинско-Лиственского выступа (см. рис. 1). Таким образом, датирование шумихинского комплекса должно было определить верхний возрастной предел для эффузивных пород Красноярского поднятия и повысить надежность определения их возраста.

Поскольку все вопросы состава и строения быскарской серии и шумихинского комплекса освещены в многочисленных публикациях и фондовых работах, а данная статья

носит геохронологический характер, ниже будет дано лишь краткое геологическое описание объектов, необходимое для понимания сути обсуждаемых вопросов.

Первый из них представляют трахиты и трахидациты северо-западного окончания Красноярского поднятия. Начало систематических работ на данной территории относится к периоду проведения в 60-х годах геологических съемок масштаба 1:200 000 [3, 12]. Вулканогенные образования территории все исследователи относили к быскарской серии с возрастом ранний-средний девон, сопоставляя их с разрезом Минусинских впадин. В последующем, при проведении крупномасштабных геологических съемок эти образования были расчленены на свиты, толщи и пачки и изучена цикличность проявления вулканизма. В частности, на соседней с юго-запада территории (Солгонском поднятии) выделены три толщи: чернавкинская, существенно базальтоидная; кузьминская, трахибазальт-трахиандезит-трахитовая и талиновская, базальтоидная. Чернавкинская и кузьминская толщи представляют собой первый заверченный цикл, а талиновская — второй незавершенный.

Вулканогенные образования на северо- и юго-западном склонах Красноярского поднятия нами при проведении ГДП-200 в 1991—1996 гг. объединены в имирскую свиту. Последняя и в пределах Качинско-Лиственского выступа (бассейн р. Гладкая и Крутая Кача, Большая Лиственка, Караульная), и на юго-западном склоне Крас-

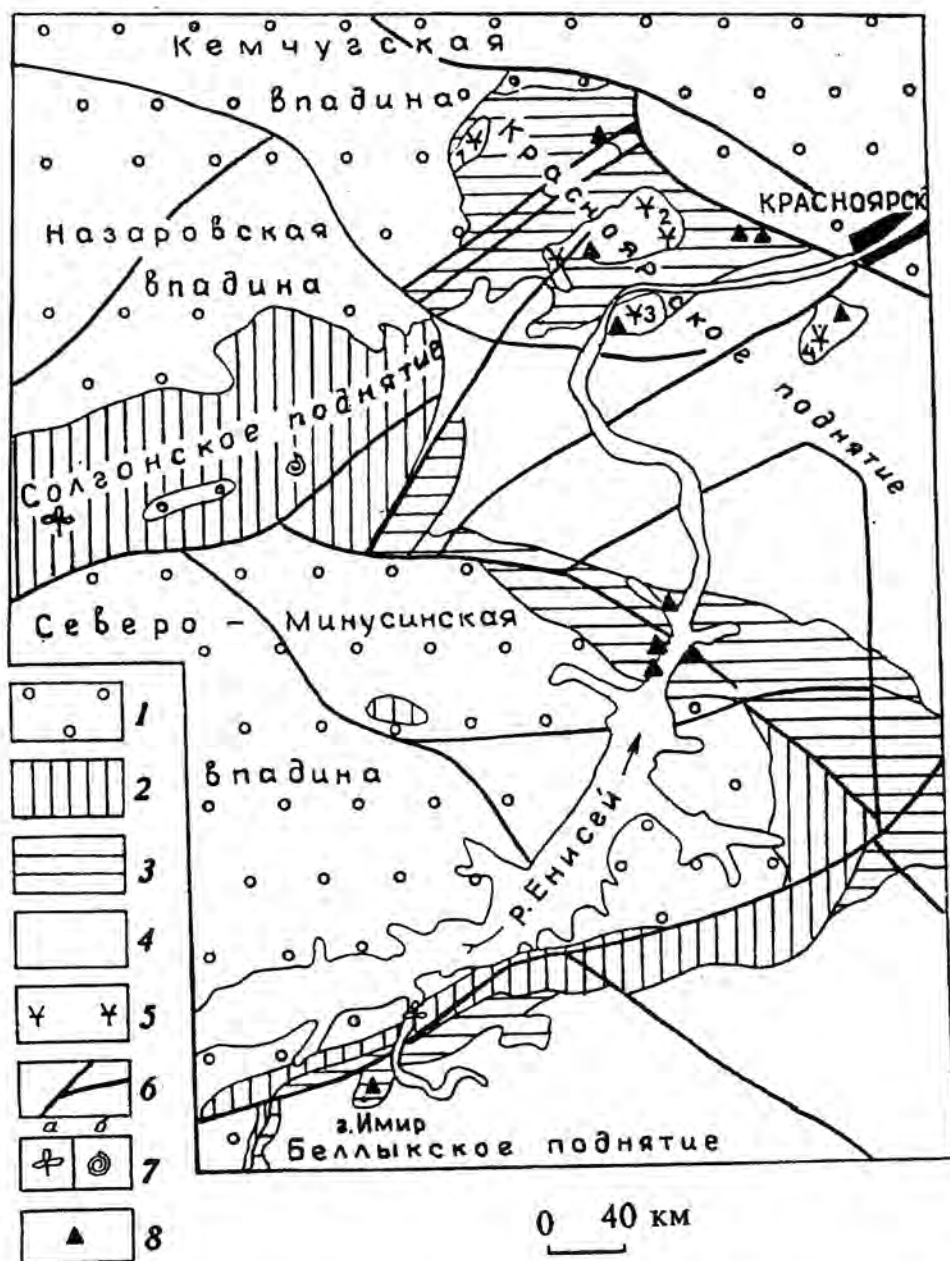


Рис. 1. Схема распространения палеозойских вулканических пород в обрамлении Красноярского поднятия и Северо-Минусинской впадины:

поля развития: 1 — послераннедевонских образований, 2 — вулканитов быскарской серии, 3 — вулканитов имирской свиты, 4 — образований доордовикского возраста; 5 — интрузивные массивы шумихинского комплекса (1 — Зелеевский, 2 — Лиственский, 3 — Шумихинский, 4 — Столбовский); 6 — разломы; 7 — места находок палеонтологических остатков раннедевонского возраста (а — флора, б — фауна); 8 — места отбора геохронологических проб

ноярского поднятия (в бассейне р. Енисей) имеет четкое двухчленное строение и подразделяется на нижне- и верхнеимирскую подсвиты. Нижнеимирская подсвита представлена базальтами, андезитобазальтами и их туфами, реже андезитами, а также редкими маломощными прослоями песчаников, алевролитов, конгломератов, туфопесчаников и туфоалевролитов. Верхнеимирская подсвита сложена андезитами, дацитами, трахитами, риодацитами, их туфами и туфолавами. Свита трансгрессивно залегает на рифей-кембрийских образованиях и также трансгрессивно перекрывается бейской свитой среднего девона (рис. 2).

Из вулканических пород Качинско-Лиственского выступа нами в бассейне р. Крутая Кача, Гладкая Кача и Караульная в 1991 г. были отобраны для изотопного датирования три пробы трахитов и трахидацитов и проба базальтов. Разрез имирской свиты для этой территории с привязкой проб к разрезу приведен на рис. 2.

В 1992 г. при проведении геолого-съемочных работ в пределах Красноярского поднятия по береговому обнажению р. Енисей был обследован непрерывный разрез вулканогенных образований, аналогичных изученным на Качинско-Лиственском выступе. На рис. 2 показан разрез быскарской серии

западного окончания Красноярского поднятия в междуречье Бюзы и Езагаш с привязкой к разрезу проб для определения возраста. Всего было отобрано шесть проб трахитов и трахидацитов и одна проба базальтов из покрова, залегающего непосредственно на изученных трахитах.

Как уже было сказано выше, для повышения надежности определения возраста вулканитов нами изучались считающиеся их комагматами интрузивные породы Шумихинского, Лиственского и Столбовского массивов шумихинского комплекса (см. рис. 1). При этом Шумихинский и Лиственский массивы по геологическим и геофизическим данным большинство специалистов считают двумя различными выходами на поверхность единой интрузии. В составе массивов шумихинского комплекса преобладают граносиениты и нордмаркиты.

Методика и результаты исследований. Датирование вулканических пород осуществлялось Rb-Sr (породы и минералы) и K-Ar (минералы) методами в отделе изотопной геологии ВСЕГЕИ по стандартным методикам [2]. Определение Rb/Sr проводилось либо с помощью уточненного рентгено-флуорисцентного анализа, либо методом изотопного разбавления с погрешностями на уровне 2σ 2 и 1 %

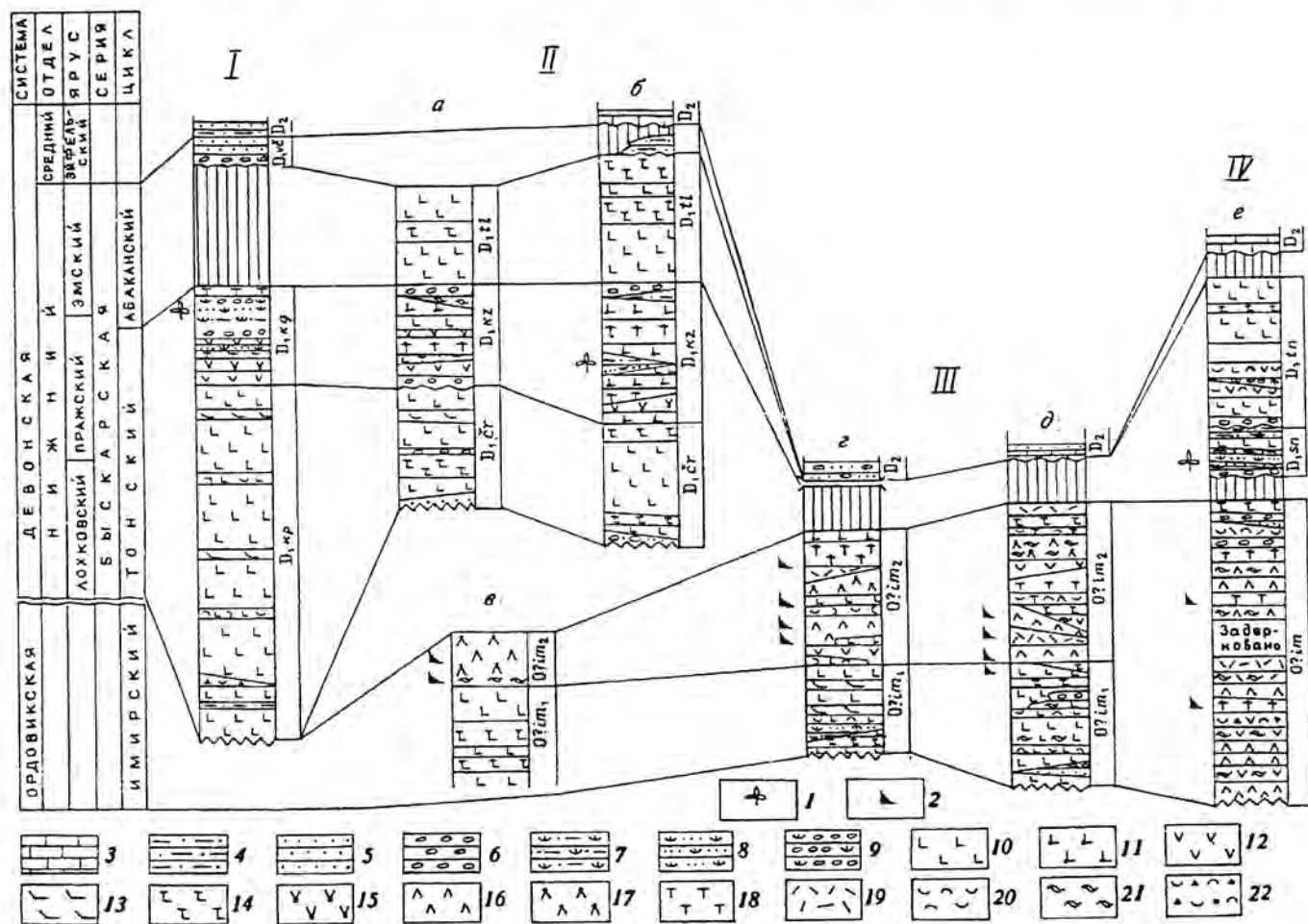


Рис. 2. Схема сопоставления палеозойских вулканитов Красноярского поднятия и некоторых сопредельных районов:

I — Копьевский купол; II — Солгонское поднятие (а — Западная часть, б — Центральная часть, в — гора Острая Пашенная); III — Красноярское поднятие (г — р. Гладкая Кача, Крутая Кача, Караульная, д — р. Енисей); IV — Беллыкское поднятие, р. Сисим (Е.А.Шнейдер, Б.П.Зубкус, 1960); 1 — места находок ископаемой флоры; 2 — места отбора геохронологических проб; 3 — известняки; 4 — алевролиты; 5 — песчаники; 6 — конгломераты; 7 — туфоалевролиты; 8 — туфопесчаники; 9 — туфоконгломераты; 10 — базальты; 11 — трахибазальты; 12 — андезиты; 13 — андезитобазальты; 14 — порфириды; 15 — трахиандезиты; 16 — дациты; 17 — трахидациты; 18 — трахиты; 19 — риолиты и риодациты; 20 — туфы; 21 — туфолавы; 22 — туфобрекнии

соответственно. При определении Rb и Sr использовался смешанный трассер. Изотопный состав определялся на масс-спектрометре МИ-1201Т. Точность измерения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ не менее 0,05 % (2 σ). Расчет параметров изохрон проводился по программе IZOPLOT; все погрешности расчетов указаны на уровне $\pm 2\sigma$. Правильность определения изотопного состава Sr контролировалась измерением стандарта NBS-987.

При определении возраста интрузивных пород дополнительно использовался U-Pb метод для цирконов. Анализ последних проводился в геохронологической лаборатории ИГД РАН по стандартной методике Т. Кроу [14] с некоторыми усовершенствованиями. Для измерения изотопных соотношений использовался прибор MAT-261. Расчет дискордий проводился также по программе IZOPLOT. При расчете возрастов применялись константы, рекомендованные Международной комиссией по геохронологии [16].

Для определения возраста трахитов Качинско-Лиственского выступа были проанализированы Rb-Sr методом три валовые пробы и калишпаты из них (табл. 1, рис. 3, а), а также эти же калишпаты K-Ar методом (табл. 2). Все отобранные пробы петрографически изменены, но вкрапленники полевого шпата этими процессами затронуты слабо. Точки, соответствующие проанализированным пробам, на Rb-Sr эволюционном графике находятся на единой изохроне (СКВО 1) с возрастом 447 ± 3 млн. лет и начальным $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IR) $0,7063 \pm 0,0004$. Расположение точек, отвечающих и минералам, и породам, на одной изохроне является доказательством в пользу реальности полученного возраста. Это же подтверждают и измеренные K-Ar возрасты калишпатов (см. табл. 2), совпадающие в пределах аналитической погрешности между собой со средневзвешенным значением 459 ± 14 (2 σ) млн. лет. Некоторое завышение K-Ar возрастов несколько необычно, и, возможно, указывает на то, что Rb-Sr изохрона фиксирует время наложенного процесса (например, при внедре-

нии интрузий шумихинского комплекса). В этом случае возраст трахитов ближе к 460 млн. лет, но в любом варианте он, очевидно, не девонский, а ордовикский.

Более сложной оказалась ситуация с вулканитами енисейского разреза. Дело в том, что несмотря на очень тщательный отбор и кажущуюся неизменность отобранных проб (во всяком случае, вкрапленников полевых шпатов), все породы, как показал петрографический анализ, оказались существенно переработанными. Сказанное относится и к вкрапленникам полевых шпатов, которые в половине проб оказались начело замещенными агрегатом карбоната, гидроксидов железа и хлорита.

Rb-Sr данные для шести валовых проб и пяти «полевых шпатов» приведены в табл. 1 и на рис. 3, б. Как видно на графике и из статистического анализа, 8 из 11 точек определяют изохрону (СКВО 0,2), угол наклона которой соответствует возрасту 414 ± 5 млн. лет при IR $0,7047 \pm 0,0003$. Три точки наименее измененных полевых шпатов (R-466, R-468 и R-471) определяют другую прямую, которая также является изохроной (СКВО 1,5) с углом наклона, отвечающим возрасту 448 ± 7 млн. лет при IR $0,7046 \pm 0,0004$.

Смысл полученного возраста представляется достаточно очевидным, особенно при сравнении с результатами для вулканитов агульской свиты [9]. Напомним, что для наименее измененных риолитов последней был получен Rb-Sr изохронный возраст 440 ± 8 млн. лет, а по измененным вулканическим породам 412 ± 11 млн. лет (мы уже отмечали, что Rb-Sr метод для измененных пород чаще всего фиксирует возраст процесса, вызвавшего эти изменения). Таким образом, практически полное совпадение результатов для двух указанных районов позволяет сделать вывод о том, что возраст вулканитов «енисейского разреза» составляет не менее 448 ± 7 млн. лет, а 414 ± 5 млн. лет назад эти породы испытали какое-то воздействие, полностью перестроившее Rb-Sr систему вулканитов и их вкрапленников (по крайней мере, в половине из них). Отметим, что эта оценка возраста пород точно соответствует той, что была получена и для трахитов Качинско-Лиственского выступа.

K-Ar данные не позволяют уточнить возраст вулканитов «енисейского разреза» из-за отсутствия темноцветных минералов. По калишпатам из трахитов верхний возрастной предел определяется в 390 ± 19 млн. лет (см. табл. 2). Полевой шпат из пробы сиенит-порфиров (R-467), слагающих, по-видимому, небольшой шток в устье р. Бюза и рвущих исследованные трахиты, определяет верхний возрастной предел последних 420 ± 12 млн. лет. Это согласуется с данными Rb-Sr метода для валовых проб и может служить подтверждением датировки наложенного процесса. В какой-то мере указанием на ордовикский возраст вулканитов служат результаты по минералам из пробы базальтов R-472, отобранных в устье залива р. Шумиха, залегающих стратиграфически выше исследованных трахитов (см. рис. 2). Измеренный возраст пироксена (см. табл. 2), очевидно, «омоложен» из-за примеси плагиоклаза и основной массы. Если предположить, что основной вклад в изменение возраста пироксенового концентрата вносит плагиоклаз, то можно провести расчет баланса калия и радиогенного аргона. Этот расчет показывает, что если в концентрате пироксена содержится около 15 % плагиоклаза (а это приблизительно соответствует данным минералогического анализа пробы), то реальный K-Ar возраст чистого пироксена составил бы не 406, а 450 млн. лет. Надо подчеркнуть, что исследованная проба в

1. Rb-Sr данные для магматических пород Красноярского поднятия

Номер пробы	Материал*	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
<i>Трахиты Качинско-Лиственского выступа</i>					
R-451	WR**	104,3	178,6	1,71	0,71730
	KFSp**	147,5	23,3	18,53	0,82442
R-452	WR**	161,2	28,2	16,71	0,81300
	KFSp**	190	14	40,25	0,96312
R-452 ^А	WR	172	35	14,30	0,79570
	KFSp**	220	22,6	28,70	0,88960
<i>Трахидациты енисейского разреза</i>					
R-466	WR	95	277	0,958	0,71033
	FSp**	26,6	451,6	0,169	0,70580
R-468	WR	159	89	5,22	0,73531
	FSp	110	99	3,21	0,72491
R-469	WR	139	55	6,56	0,74368
	FSp**	46,7	93,6	1,443	0,71330
R-470	WR	207,5	91	6,59	0,74359
	FSp	151	117	3,74	0,72689
R-471	WR	279	29,6	27,85	0,86918
	FSp**	182,7	72,1	7,37	0,75183
220520	WR	143	44	9,04	0,75794
<i>Граносиениты Шумихинского и Лиственского массивов</i>					
3005-35	WR	08	408	10,721	0,70927
3005-39	FSp**	134	137	2,839	0,72326
R-515	WR			2,771	0,72255
	KFSp**	122,7	97,6	3,645	0,72797
R-515 ^А	WR			0,988	0,71034
	KFSp**	128,8	253,8	1,468	0,71351

* WR — порода в целом; KFSp — калишпат; FSp — полевой шпат.

** Определения выполнены методом изотопного разбавления.

наименьшей степени затронута вторичными преобразованиями, а вкрапленники — практически «свежие», хотя, конечно, проведенный расчет не является прямым доказательством ордовикского возраста базальтов.

Результаты датирования пород шумихинского комплекса — более однозначны. Уже первые результаты, полученные К-Аг методом по пробе № 3921 (см. табл. 2) и доложенные нами на V Восточно-Сибирском петрографическом совещании [6], показали, что возраст Шумихинского массива не является девонским и составляет не менее 425 млн. лет. Дальнейшие исследования, проведенные U-Pb методом, несмотря на некоторые сложности, уточнили этот вывод.

Изначально для двух фракций циркона из пробы 3005-39 были получены дискордантные значения U-Pb возраста (табл. 3, рис. 4). Расположение точек на графике указывает на наличие, по крайней мере в крупной фракции, ксеногенной компоненты. При этом нижнее пересечение дискордии, проведенной через эти точки, с конкордией отвечает возрасту 400 ± 5 млн. лет, которое «омоложено» относительно К-Аг данных и явно указывает на имевшие место потери радиогенного свинца из цирконов в гипергенных условиях. Последнее определенно доказывается последующим анализом мелкой фракции циркона 3005-39 (см. табл. 3, проба 3), прошедшей жесткую обработку HF (4 ч при температуре 200°C). В результате такой обработки происходит растворение метамиктной фазы циркона, ответственной за гипергенные потери радиогенного свинца. Именно это и наблюдается в обработанной пробе. Возраст, рассчитанный по всем трем отношениям, оказался одинаковым. Это однозначно определяет возраст Шумихинского массива 451 ± 6 млн. лет, чему не противоречат результаты К-Аг датирования.

Практически аналогичные результаты получены U-Pb методом для цирконов из двух проб (R-515 и R-515^A) Лиственского массива (см. табл. 3, рис. 4). Мелкие фракции этих цирконов и крупная фракция циркона R-515^A были подвергнуты жесткой кислотной обработке для выщелачивания метамиктной фазы. Как видно на рис. 4, точки, отвечающие этим пробам, расположены вблизи конкордии и значительно выше необработанных цирконов Шумихинского массива. По-видимому, влияние гипергенных потерь свинца в пробах из Лиственского массива удалось существенно минимизировать. Об этом говорит и существенная разница в концентрациях урана для обработанных и необработанных проб (см. табл. 3).

Если считать, что в остатках после выщелачивания в цирконах Лиственского массива метамиктная часть полностью удалена, а ксеногенная компонента имеет один возраст, то дискордия, проведенная через эти пробы пересекает конкордию в точке истинного возраста, который составляет около 445 млн. лет. Этот возраст в пределах погрешности совпадает с конкордантным возрастом циркона из Шумихинского массива. Небольшая разница в возрасте цирконов, полученная для этих массивов, скорее всего, отражает неполное и неодинаковое удаление метамиктной фазы в изученных фракциях цирконов Лиственского массива. Об этом же говорит и большое СКВО 2,9 для рассчитанной дискордии.

Результаты К-Аг метода для калиевых полевых шпатов из проб Лиственского массива (см. табл. 2) показывают, что его возраст не менее 440 млн. лет (более определенный вывод невозможен из-за незначительного содержания в отобранных пробах темноцветных минералов), подтверждая выводы U-Pb метода.

Данные Pb-Sr метода (см. табл. 1, рис. 3, в) для Шумихинского и Лиственского массивов не дают однозначного результата, т.к. аппроксимирующая аналитические точки прямая не является изохроной, о чем говорит высокое СКВО (3,7). Угол наклона этой эрохроны соответствует возрасту 464 ± 29 млн. лет при IR $0,7041 \pm 0,0009$. На наш взгляд, такой результат — следствие неомогенности изотопного состава первичного стронция в породах изученных массивов, о чем косвенно свидетельствует наличие ксеногенных цирконов в отобранных пробах. Однако независимо от причин, вызвавших нарушение Rb-Sr систем, можно утверждать, что и результаты Rb-Sr датирования также подтверждают данные U-Pb метода, совпадая в пределах погрешности с последними.

Несколько неожиданными оказались результаты определения возраста Столбовского массива. Данные К-Аг метода для минералов из трех проб нордмаркитов (см. табл. 2) демонстрируют полную сходимость в пределах погрешности измеренных возрастов всех темноцветных минералов. Для пробы R-455 вообще наблюдается полное совпадение минеральных возрастов, что указывает на отсутствие сколь-нибудь заметных воздействий, способных исказить К-Аг системы минералов. Все это позволяет однозначно определить время образования массива средним из измеренных возрастов всех минералов (за исключением калишпатов R-437 и R-454), которое составляет 469 ± 9 млн. лет. Это примерно на 20 млн. лет древнее, чем время образования Лиственского и Шумихинского массивов, что указывает либо на неправомерность объединения этих массивов в один комплекс, либо о двух фазах его становления.

Главный вывод, следующий из результатов изуче-

2. К-Аг данные для магматических пород Красноярского поднятия

Номер пробы: минерал*	К, %	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$, нг/г	$T_{\text{возр}}$, млн. лет
<i>Вулканы Качинско-Листвянского выступа</i>			
R-451: KFSp	6,58	240,8	463 ± 13
R-452: KFSp	6,14	218,4	452 ± 13
R-452 ^A : KFSp	5,94	219,5	467 ± 20
R-453: Pl	1,74	59,2	431 ± 13
<i>Вулканы Енисейского разреза</i>			
R-467: FSp	3,36	110,5	20 ± 12
R-468: FSp	4,15	117,3	368 ± 17
R-470: FSp	6,41	193,6	390 ± 19
R-471: FSp	6,18	178,8	375 ± 17
R-472: Px(конц)	0,20	6,3	406 ± 16
Pl(конц)	0,74	21,4	357 ± 15
<i>Шумихинский массив</i>			
3921:** Bt	7,44	249,4	429 ± 12
KFSp	11,01	361,6	421 ± 13
<i>Лиственский массив</i>			
R-515: KFSp	5,10	177,4	443 ± 15
R-515 ^A : KFSp	5	169,7	433 ± 17
<i>Столбовский массив</i>			
R-437: Am	0,73	26,6	461 ± 23
KFSp	5,93	152,7	338 ± 12
R-454: Am	0,81	29,4	460 ± 15
Bt	5,19	192,9	469 ± 14
KFSp	6,11	214,2	446 ± 15
R-455: Am	0,82	31,1	479 ± 13
Bt	6,96	261,8	475 ± 10
KFSp	5,02	186,7	470 ± 10

* Ам — амфибол; Bt — биотит; Pl — плагиоклаз; Px — пироксен.

** Проба предоставлена Г.К. Шнай (ВСЕГЕИ).

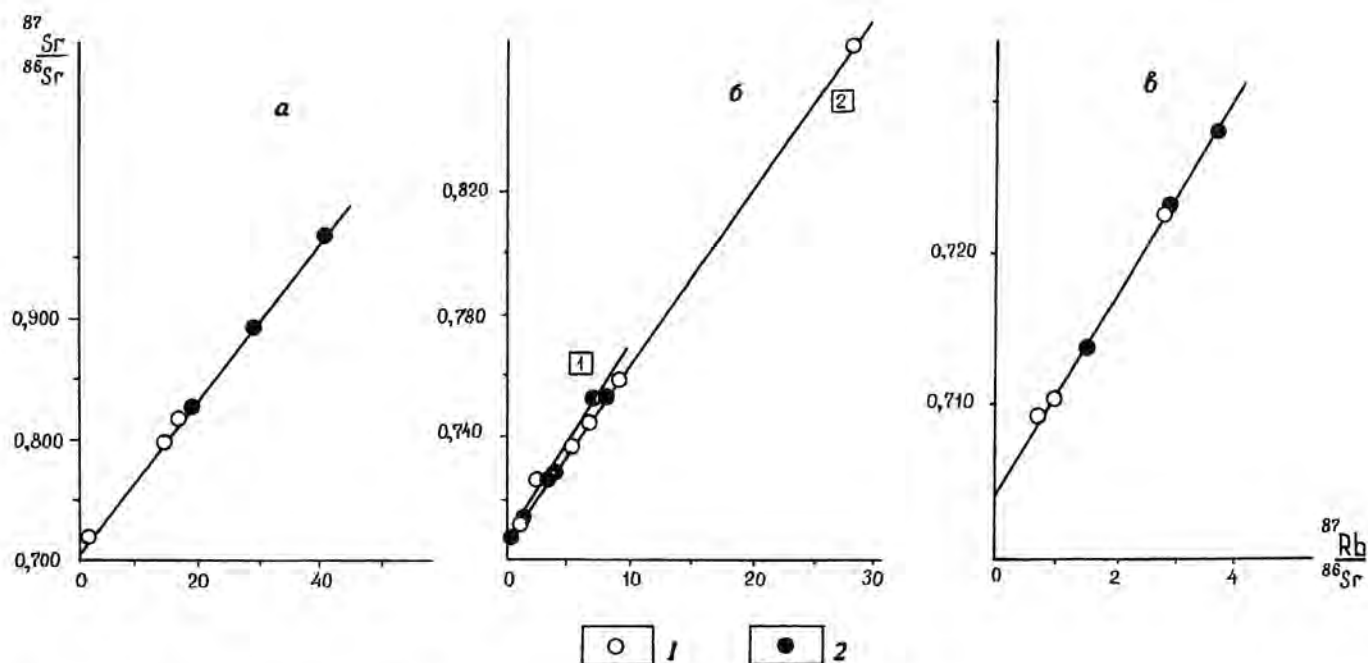


Рис. 3. Rb-Sr эволюционные диаграммы для магматических пород Красноярского поднятия:

a — трахиты Качинско-Лиственского выступа (T 447±6 млн. лет; Sr_0 0,7053±7; СКВО 0,4); *b* — трахидацинты «енисейского разреза» (T_1 446±7 млн. лет, Sr_0 0,7047±2, СКВО 1,1; T_2 414±5 млн. лет, Sr_0 0,7047±3, СКВО 0,2); *c* — интрузии шумихинского комплекса (T 464±29 млн. лет; Sr_0 0,7041±9; СКВО 3,7); 1 — порода; 2 — полевые шпаты

ния интрузивных аналогов трахитов, заключается в том, что их датирование полностью и однозначно подтверждает ордовикский возраст вулканитов Качинско-Лиственского выступа.

Полученные данные позволяют с новых позиций оценить стратиграфические проблемы региона, связанные с возрастом и корреляцией вулканогенных образований, относимых к быскарской серии. Первая из них заключается в несомненной полихронности вулканитов. Такой вывод со всей очевидностью вытекает из результатов датирования субвулканических трахидацинтов Тимиргасской синклинали (Таштыпский район), палеонтологически охарактеризованных окончанием эмса. Исследование U-Pb методом цирконов, выделенных из этих пород, несмотря на некоторые трудности, связанные с наличием в них ксеногенной компоненты, показывает, что их возраст составляет 383—395 млн. лет [7]. Уточнение возраста этих пород для калибровки фанерозойской шкалы геологического времени (ФШНВ) еще продолжается, но уже сейчас очевид-

но, что считавшаяся практически единой эпоха вулканизма разделяется по крайней мере на две с интервалом около 60 млн. лет.

Вторая проблема связана с распространенностью пород, которые ранее относились к единому девонскому уровню. Однозначно ордовикскими являются вулканиты Агульского прогиба, Качинско-Лиственского выступа и, почти наверняка, «енисейского разреза». Скорее всего, такой же возраст должны иметь вулканиты восточного обрамления Сыдо-Ербинской впадины, прорванные Сайбарским сиенитовым массивом. Этот массив, по данным сибирских исследователей [1], имеет Rb-Sr изохронный возраст 426±14 млн. лет. Поскольку в указанной работе не приведены доказательства неискаженности рассчитанного возраста, то не исключено, что его истинный возраст на самом деле еще больше и соответствует одному из определенных нами для интрузивных пород шумихинского комплекса. В этом случае и прорванные Сайбарским массивом вулканиты аналогичны по возрасту образования имирской свиты в обрамле-

3. U-Pb данные для цирконов из пород шумихинского комплекса

Номер по порядку	Номер пробы, фракция*	U, мкг/г	Pb, мкг/г	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb**	Возраст, рассчитанный по:***		
					²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
Шумихинский массив							
1	3005-39(+0,09)	413,9	31,6	973	432,3±1,3	451,9±1,5	552,7±1,8
2	3005-39(-0,09)	600,8	42,7	1333	411,9±1,2	419,3±1,3	459,9±2,3
3	3005-39(-0,09)	168,5	18,2	156	450,5±1,4	450,6±1,9	451,3±6,6
Лиственский массив							
4	R-515 (-0,05)	167	12,8	2513	446,7±1,4	451,9±1,5	478,5±2,4
5	R-515 (+0,05)	193	15,6	831	447,4±1,4	455,5±1,6	496,9±3,3
6	R-515^A (-0,05)	233,6	18,1	2421	449,9±1,4	457,1±1,5	493,4±2,3

* В скобках — размер фракции, мм.

** Отношение исправлено на величину холостого опыта и масс-фракционирование.

*** Поправка на обыкновенный свинец вводилась по модельному свинцу соответствующего возраста [15].

нии Красноярского поднятия, но в любом варианте они не моложе 426 ± 14 млн. лет, т.е. заведомо не девонские. Вполне вероятно, что и вулканы сайлыгской свиты Тувы также имеют ордовикский возраст, во всяком случае те из них, которые в районе Бренского массива прорваны штоками гранит-порфиров собственно бренского комплекса. Для последних данные Rb-Sr и K-Ar методов определяют возраст не менее 430 млн. лет [6]. Таким образом, уже сейчас можно уверенно утверждать, что ордовикские вулканы «быскарской серии» очень широко представлены на территории центральной части АССО.

Очевидно, необходим поиск критериев разделения вулкаников, т.к. практически сложно продатировать все поля их развития. Более того, это и не всегда возможно. Последнее иллюстрируется результатами изучения проб, отобранных в береговых обнажениях р. Енисей на западном склоне Красноярского поднятия. Если бы наложенный процесс, затронувший эти породы, был проявлен более интенсивно, то и измеренный возраст пород составлял бы 415 млн. лет. В этом случае выявление смысла полученного значения было бы существенно осложнено и, как один из вариантов, пришлось бы предполагать наличие еще одной эпохи вулканизма.

Еще более сложная ситуация возникла при определении возраста вулканических пород, отобранных из стратотипа имирской свиты на горе Имир (см. рис. 1). Не обсуждая здесь подробно полученные результаты, которые не являются законченными и требуют дополнительной проверки, отметим, что по данным Rb-Sr метода возраст вулкаников составляет примерно 390 млн. лет, а по данным K-Ar метода — не менее 435 млн. лет. Учитывая важность датирования этого объекта, мы предполагаем продолжить его исследование и разобраться в причинах такого поведения изотопных систем. Однако имеющиеся данные позволяют признать более вероятным вывод, основанный на результатах K-Ar датирования, а «омоложение» Rb-Sr системы связать с влиянием процессов образования Минусинских впадин и связанного с этим вулканизма.

Поиск критериев разделения вулкаников, скорее всего, должен идти по разным направлениям. Однако уже сейчас обращают на себя внимание следующие обстоятельства. Во-первых, все перечисленные места распространения вулкаников ордовикского возраста находятся в обрамлении структур

Восточного Саяна и в восточном обрамлении Минусинских впадин. Доподлинно девонские вулканы, залегающие в палеонтологически охарактеризованных осадочных породах, отмечаются в западном обрамлении впадин (Таштыпский район, район оз. Шира и т.д.) и на Солгонском поднятии. Поэтому, не исключено, что одним из критериев разделения вулкаников может стать географический, хотя отмеченная особенность не означает возможного отсутствия в западных и северных бортах впадин пород ордовикского возраста. Для более конкретных выводов требуются дополнительные исследования. Во-вторых, «быскарские» вулканические породы считаются комагматами широко распространенных интрузивных комплексов гранитоидного и сиенитоидного состава (шумихинский, ирбинский, огнитский и др.), ранее относимых к девонскому этапу развития АССО. Однако изотопно-геохронологические исследования этих комплексов, проводившиеся в течение последнего десятилетия, показали, что в пределах Восточного Саяна все считавшиеся девонскими комплексы имеют ордовикский возраст [6, 8, 9 и др.]. Таким образом, если геологические выводы о комагматичности указанных интрузий и вулкаников «быскарской» серии справедливы, то и с этих позиций в пределах Восточного Саяна и его обрамлении ордовикские вулканы должны быть широко проявлены.

Из заключения о комагматичности вулканических и интрузивных пород вытекает и предположение о более сложной истории становления вулкаников. Среди бывших девонских интрузий Восточного Саяна в настоящее время намечается выделение двух

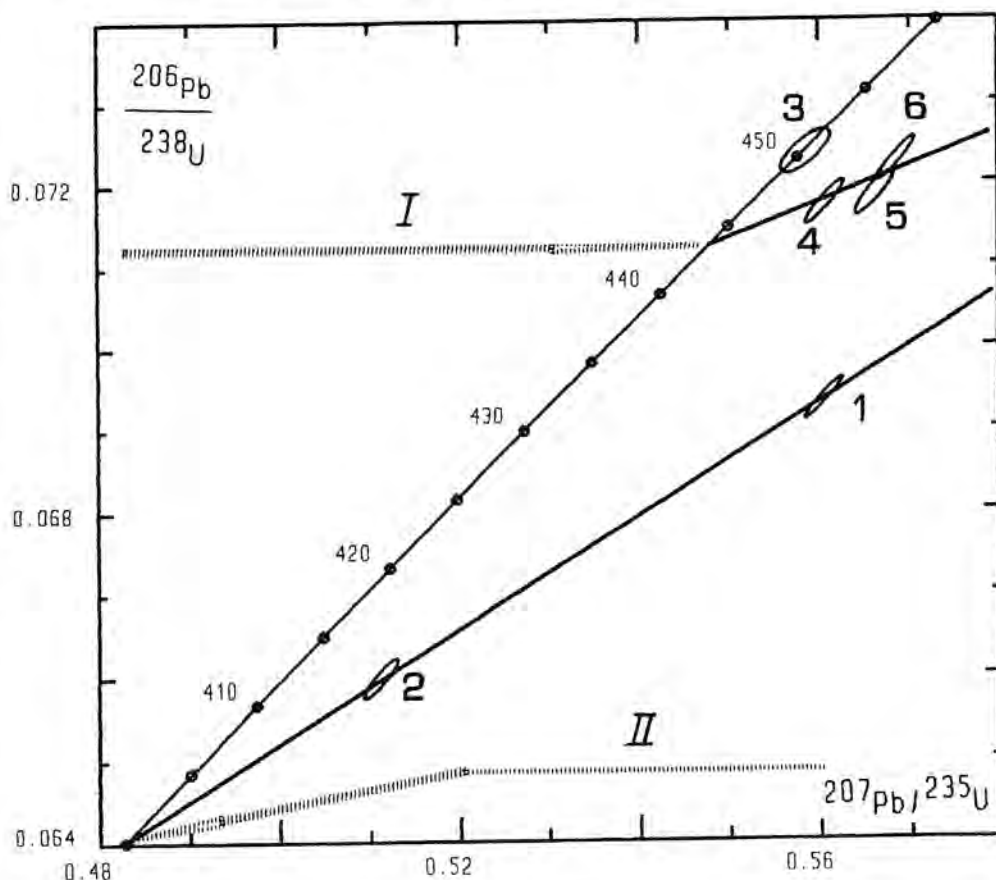


Рис. 4. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов из пород шумихинского комплекса:

I — $T 443,2 \pm 5,9$ млн. лет (СКВО 9); II — $T 400 \pm 10$ млн. лет; номера точек соответствуют порядковым номерам в табл. 3

возрастных групп. Одна имеет возраст 455 ± 5 млн. лет и включает рассмотренные Шумихинский и Лиственский массивы, интрузии огнитского комплекса и массивы щелочных и нефелиновых сиенитов, относящиеся к сайбарскому (или сангиленскому) комплексу, в частности — Катунский массив. Вторую группу составляют Поселенский, Столбовский, Белыкский и, вероятно, Ирбинский массивы, возраст которых составляет 465—470 млн. лет. Из этого следует, что и среди ордовикских вулканитов также могут оказаться две возрастные группы. При этом, учитывая, что ордовикская часть ФШГВ является одной из наиболее надежно установленных, эти вулканиты (как и интрузии) должны относиться к среднему ордовика, границы которого определяются интервалом 448—473 млн. лет [13, 17].

В связи с тем, что возраст вулканических пород оказывается принципиально различным, возникает необходимость пересмотра сложившихся представлений о корреляции этих пород. Корректное решение этой проблемы в масштабах всего региона без дополнительных и целенаправленных изотопно-геохронологических исследований вряд ли возможно, но и традиционный подход не исчерпал себя. В частности, полученные данные полностью подтверждают справедливость сопоставления вулканитов Агульского прогиба и Качинско-Лиственского выступа. В обоих случаях мы получили полное совпадение результатов не только для самих вулканитов, но и прорывающих их интрузий.

Приведенные в настоящей работе данные, наряду с ранее опубликованными, приводят к однозначному выводу о необходимости выделения нового, ордовикского этапа магматической деятельности в АССО. Предстоит заново осмыслить его место в истории геологического развития региона, петрологические и металлогенические последствия этого события. Однако, в первую очередь, перед геологами должна встать задача выявления масштабов эндогенной активности в ордовике, ареалов распространения магматизма этого возраста и пересмотра стратиграфических схем палеозоя в тех районах АССО, где соответствующие породы уже безусловно обнаружены. Прежде всего, это относится к Восточному Саяну, где, судя по имеющимся данным, масштабы девонской активности были минимальны. Представляется, что решение большинства возникших стратиграфических проблем невозможно без установления точного возраста вулканических пород, до недавнего времени целиком объединявшихся в единую быскарскую серию.

Анализируя собственные материалы, а также материалы предшественников и учитывая новые данные изотопной геохронологии о возрасте вулканитов Минусинских впадин и их обрамления, нами на данном этапе предлагается следующая предварительная схема расчленения быскарской серии. Согласно ей, низы вулканогенного разреза этих регионов представлены имирской свитой, возраст которой принимается ордовикским и которая соответствует одноименному тектоно-магматическому циклу. На имирской свите с размывом залегают вулканиты быскарской серии раннего девона, внутри которой выделяются породы, соответствующие тонскому и абаканскому тектоно-магматическим циклам. Отметим, что формационное различие имирских и тонских вулканитов было подчеркнуто еще в 60-х годах А.Д.Шелковниковым, причем имирская свита рассматривалась им в качестве завершающей собственно геосинклинальный этап развития каледонид и относилась к силуродевону, а тонская — к на-

чальной стадии субплатформенного этапа. Между имирскими и быскарскими вулканогенными образованиями существует перерыв нерегionalного характера, который отмечали многие исследователи. Дополнительная аргументация предложенной схемы заключается в том, что все доподлинно ордовикские вулканиты относились к имирской свите или ее аналогам. Поэтому до проведения специальных работ мы предлагаем все вулканиты, которые относятся к имирской свите, не имеют палеонтологического обоснования возраста и находятся в обрамлении Минусинских впадин, картировать ордовикским возрастом. Этот, повторяем, предварительный вариант и отражен на рис. 1 и 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков В.С., Плюсин Г.С. и др. Изотопное датирование и генезис нефелиновых руд Минусинской системы впадин // Изотопное датирование эндогенных рудных формаций: Тез. докл. Киев, 1990. С. 115—118.
2. Лавриков В.М., Турова Л.Ф. Геологическая карта СССР. Карта полезных ископаемых. Масштаб 1:200 000. Объяснительная записка. Серия Минусинская. Лист 0-46-XXXIII. — М.: Недра, 1966.
3. Методические рекомендации по определению возраста горных пород радиоизотопными (изотопными) методами / Под ред. Г.А.Муриной. — Л.: ВСЕГЕИ, 1983.
4. Парначев В.П., Макаренко Н.А. и др. Основные особенности девонского вулканизма центральной части Алтае-Саянской складчатой области // Вопросы геологии Сибири. Томск, 1994. Вып. 2. С. 220—236.
5. Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири. Часть II (Средний и верхний палеозой) — Новосибирск, 1982.
6. Рублев А.Г. К вопросу о «девонской орогении» Алтае-Саянской складчатой области (АССО) // Корреляция, петрология и рудоносность магматических и метаморфических комплексов, эндогенные процессы в литосфере: Тез. докл. к V Вост.-Сиб. регион. петрограф. совещанию. Иркутск, 1989. С. 27—28.
7. Рублев А.Г., Махлаев М.Л. и др. О возрасте границы нижний-средний девон // Отечественная геология. 1997. № 5. С. 22—25.
8. Рублев А.Г., Решетова С.А. и др. Новые радиоизотопные данные о возрасте пород повышенной щелочности восточной части Алтае-Саянской складчатой области // Петрология, рудоносность и корреляция магматических и метаморфических образований, флюидный режим эндогенных процессов: Тез. докл. к IV Вост.-Сиб. регион. петрограф. совещанию. Иркутск, 1985.
9. Рублев А.Г., Шергина Ю.П., Шкорбатова Г.С. О времени проявления «девонского» магматизма в Агульском прогибе (Восточный Саян) // Отечественная геология. 1994. № 3. С. 42—48.
10. Смагин А.Н. Проблемы возраста вулканических ассоциаций и сопряженных с ними гранитоидов и осадочных пород в структурах тектоно-магматической активизации Восточного Саяна // Проблемы стратиграфии и магматизма Красноярского края и Тувинской АССР. Красноярск, 1990. С. 8—13.
11. Стратиграфический словарь СССР. Т. I. Кембрий, ордовик, силур, девон. — Л.: Недра, 1975.
12. Чаиркин В.М., Залыев Р.Ш. Геологическая карта СССР. Карта полезных ископаемых. Масштаб 1:200 000. Объяснительная записка. Серия Минусинская. Лист N-46-III. — М.: Госгеолтехиздат, 1962.
13. Dunning G.R., Krogh T.E. Stratigraphic correlation of the Appalachian Ordovician using advanced U-Pb zircon geochronology techniques // Geol. Survey of Can. 1991. Pap. 90-9. P. 85—92.
14. Krogh T.E. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1973. Vol. 37. № 3. P. 485—494.
15. Stacey J.S., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. 1975. Vol. 26. № 2. P. 207—221.
16. Steiger R.H., Jager E. Subcommission on Geochronology: Convention on the Use of decay Constants in Geo- and Cosmochronology // Earth Planet. Sci. Lett. 1977. Vol. 36. № 3. P. 359—362.
17. Tucker R.D., Krogh T.E., Ross J.R., Williams S.H. Time scale calibration by high precision U-Pb zircon dating of interstratified volcanic ashes in the Ordovician and Lower Silurian stratotypes of Britain // Earth Plan. Sci. Lett. 1990. Vol. 100. № 1. P. 51—58.

Принята редколлегией 17 декабря 1997 г.

Изучение зоны минерального питания растений при эколого-геологических исследованиях

В.И.БГАТОВ, Н.А.ЛИЗАЛЕК, Н.М.КУЖЕЛЬНЫЙ (СНИИГГиМС)

В настоящее время намечается второе издание Геолкарты-200, которая рассматривается как фундаментальная многоцелевая геологическая основа природопользования, в т.ч. и для экологии. В Инструкции [5] предусмотрено составление эколого-геологических карт и схем для районов с кризисной или напряженной экологической обстановкой. Эти карты включены в комплект обязательных карт. При картировании *эколого-геологических условий* предусматриваются учет типов и форм рельефа, вещественного состава четвертичных отложений, состав дочетвертичного субстрата. В виде дополнительной нагрузки может отображаться растительность. При оценке геохимической устойчивости ландшафтов учитываются: тип ландшафта (денудационный, аккумулятивно-денудационный, аккумулятивный), сорбционная способность пород, тип водообмена грунтовых вод с атмосферой (инфильтрационный, инфильтрационно-испарительный, испарительный), количество осадков, объем биомассы, механический состав почвы (глины, суглинки, супеси, пески и т.д.), содержание гумуса. Эти сведения дают возможность выяснить экологическую обстановку, но, к сожалению, отсутствуют данные, позволяющие оценить физико-химические параметры среды геологического субстрата фитоценозов. Их оценка возможна при специализированном изучении зоны минерального питания (ЗМП) растений, т.е. зоны сложной саморазвивающейся геологической формации поверхностной части литосферы, включающей почву и подпочвенные породы [7]. Объем данной зоны как геологического тела соответствует зоне аэрации и активного водообмена, т.е. объему современной коры выветривания. Это зона интенсивных химических, геохимических и биогеохимических процессов, в результате которых формируются минеральные питательные вещества для живых, преимущественно растительных организмов. Геологическая среда ЗМП характеризуется составом и физико-химическими свойствами горных пород, поровых вод и газовой фазы, в совокупности определяющих условия формирования биоценозов. Геологическая среда — объект изучения экологической геологии. Строение и мощность ЗМП изменяются в зависимости от структурно-геологических и геоморфологических обстановок [8]. В равнинных ландшафтах она представлена верхнечетвертичными и современными озерно-аллювиальными и субаэральными отложениями и ограничивается снизу водоупорным слоем, залегающим в основании горизонта грунтовых вод. Глубина залегания верхнего уровня (зеркала) грунтовых вод определяется в основном степенью расчленения рельефа и располагается приблизительно на высотных отметках водной поверхности местных водоемов.

С увеличением расчлененности рельефа роль четвертичных отложений снижается; в горных районах они нередко отсутствуют. Здесь ЗМП представлена в основном продуктами дезинтеграции коренных

пород. Мощность ее определяется количеством элювиально-делювиальных образований: на магматических и обломочных консолидированных породах, кристаллических сланцах — от долей метра до 2 м, по слабоцементированным терригенным или карбонатным породам — первые метры. Мощность чехла, сложенного продуктами дезинтеграции, зависит также от форм рельефа. Так, она минимальна на крутых склонах, значительна на выровненных водоразделах, максимальна в пределах вогнутых участков, особенно в основании склонов. При незначительной мощности рыхлые продукты целиком находятся под воздействием почвообразовательных процессов и отличаются повышенной влажностью. Атмосферные осадки скапливаются в основании зоны дезинтеграции, нередко образуя горизонт верховодки. Роль местного водопора выполняют нижележащие консолидированные горные породы.

В комплекс работ по исследованию ЗМП входят: литолого-минералогическое описание разрезов, определение гидрогеохимических параметров геологической среды ЗМП, изучение состава подземной атмосферы. Проводятся полевые и лабораторные исследования.

Задача полевых работ — описание геологических разрезов по возможности всех элементарных ландшафтов, от местных водоразделов до геохимически подчиненных — водоемов, водотоков, оврагов и т.д.

Разрезы вскрываются мелкими скважинами или шурфами (закопушками). Горные выработки проходятся на плоских участках водоразделов для характеристики ЗМП в пределах автономных элювиальных ландшафтов, речных долинах, где развиты супераквальные ландшафты. В районах с глубокими речными долинами, часто имеющих У-образную форму, задаются шурфы в верхних и нижних (ближе к основанию) частях склонов для характеристики трансэлювиальных и элювиально-аккумулятивных фаций. В равнинных районах с разработанными речными долинами закладываются дополнительные горные выработки для более полной характеристики ЗМП широких террас. Таким образом, разрезы ЗМП описываются в зависимости от строения рельефа: 1) на водоразделе — склонах — речной пойме; 2) на водоразделе — речных террасах — пойме. Число основных точек наблюдения в пределах одного профиля может изменяться от 2 до 5. Дополнительные точки наблюдения могут располагаться над зонами разломов, геологическими контактами и др.

Цель полевого изучения — выделение и характеристика горизонтов в разрезах ЗМП, отбор образцов горных пород, проб газа и подземных вод. При документации горных выработок в полевых дневниках указываются их привязка к местности, геологическое строение участка, состав коренных пород. Описание разрезов ведется послойно или по горизонтам (интервалам). Основными критериями для выделения горизонтов служат окраска, структура и состав пород, присутствие гумусового вещества и

1. Классификация обломочных пород по структурным признакам

Подгруппы	Размер частиц, мм	Литифицированные			
		Рыхлые		Сцементированные	
		Окатанные	Угловатые	Окатанные	Угловатые
Глинистые (пелиты)*	<0,001	Глина		Аргиллит	
Пылеватые (алевриты)	0,001—0,01	Алеврит тонкий		Алевролит тонкий	
	0,01—0,05	Алеврит грубый		Алевролит грубый	
Песчаные (псаммиты)	0,05—0,25	Песок мелкий		Песчаник мелкий	
	0,25—0,5	Песок средний		Песчаник средний	
	0,5—1	Песок крупный		Песчаник крупный	
Грубообломочные (псефиты)	1—5	Гравий мелкий	Дресва мелкая	Гравийный конгломерат мелкий (гравелит)	Дресвяная брекчия мелкая (дресвит)
	5—10	Гравий крупный	Дресва крупная	Гравийный конгломерат крупный (гравелит)	Дресвяная брекчия крупная (дресвит)

* Иногда к глинам относят фракции размерностью 0,002 мм и менее.

растительных остатков. Отмечаются мощность горизонтов и характер контактов, признаки гипергенного изменения пород, инфильтрации растворов (по следам вымывания глинистых частиц в нижние горизонты).

При описании пород приводится их название по механическому составу: глина, песчаная (или алевритовая) глина, песок или алеврит и т.д.; указываются цвет и особенности распределения окраски; плотность (слитная, плотная, рыхлая сыпучая), пластичность; влажность (сухая, влажная, мокрая); вид органического вещества в кровле почвенного горизонта (торф, подстилка, дернина); появление новообразований и формы их выделения.

Состав и форма минеральных новообразований свидетельствуют о гидрогеологических условиях ЗМП. Налеты солей на стенках пор и поверхности почв, наличие нитевидных прожилков (псевдомонце-лия) — показатели поступления растворов из горизонта грунтовых вод по капиллярам (восходящие растворы). Подъемом растворов в верхние горизонты обусловлено также появление в породах ржавых или сине-черных пятен гидроксидов железа и марганца. Формирование вивианита свидетельствует о застойном гидрологическом режиме и восстановительных условиях (процессах оглеения); присутствие коллоидного черного осадка сернистого железа (троилита?) — о появлении сероводорода и т.д.

Отбор проб проводится во всех выделенных горизонтах зоны, в т.ч. и гумусовом горизонте. В случае однородного состава почвообразующих пород пробы отбираются поинтервально через 0,1—3 м в зависимости от мощности разреза. При малых мощностях почвообразующих пород, представленных продуктами дезинтеграции и выщелачивания консолидированных толщ, необходимо отбирать пробу исходной (материнской) породы. Масса пробы не менее 500 г.

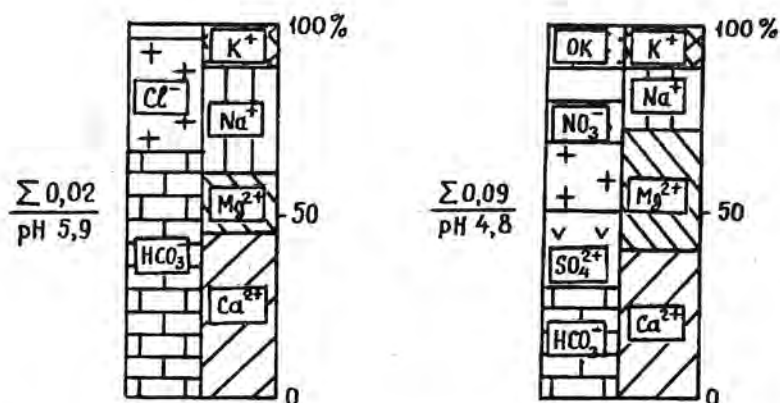
Задача лабораторных работ — литолого-минералогическое описание разрезов и определение параметров гидрогеохимической среды ЗМП. Приемы и методы литолого-минералогических исследований геологам известны — проводится гранулометрический анализ с выделением фракций, в иммерсионных препаратах и шлифах определяется минеральный состав, в т.ч. новообразования. При изучении глинистых и карбонатных минералов используются термический и рентгеновский методы. Состав пороодооб-

разующих минералов и их количественные соотношения могут быть уточнены, если имеются результаты валового химического анализа и солянокислой вытяжки.

Следует иметь в виду, что методические подходы к изучению четвертичных отложений в геологии и пород почвенных профилей в почвоведении различны, и для характеристики ЗМП как единого биолого-геологического образования необходима их унификация. Прежде всего следует остановиться на классификации пород. Классификация по механическому составу, наиболее отвечающая представлениям и геологов, и почвоведов, предложена в 1967 г. Н.В.Логвиненко [6] (табл. 1). Однако в отличие от классификации Н.В.Логвиненко к глинам более целесообразно относить фракции с размерностью частиц менее 0,001 мм, поскольку фракция 0,001—0,005 мм состоит преимущественно из «неглинистых» минералов (пыль мелкая в понимании почвоведов). Различны и подходы к классификации терри-

2. Классификация средне- и мелкообломочных пород

Порода	Содержания фракций, %		
	0,05—1 мм	0,001—0,05 мм	<0,001 мм
Песок	100—80	20—0	20—0
глинистый	80—50	10—0	50—20
алевритовый	70—50	50—30	10—0
алевритистый	80—50	30—20	10—0
алевритисто-глинистый	60—50	20—10	40—30
глинисто-алевритистый	60—50	40—30	20—10
Алеврит	20—0	100—80	20—0
глинистый	10—0	80—50	50—20
песчаный	50—30	70—50	10—0
песчанистый	30—20	80—50	10—0
песчано-глинистый	20—10	60—50	40—30
глинисто-песчаный	40—30	60—50	20—10
Глина	20—0	20—0	100—80
алевритовая	10—0	50—30	70—50
алевритистая	10—0	30—20	80—50
песчаная	50—30	10—0	70—50
песчанистая	30—20	10—0	80—50
песчано-алевритовая	20—10	40—30	60—50
алеврито-песчаная	40—30	20—10	60—50
Неотсортированные кластоциты			
Супесь	50—40	50—0	50—0
Суглинок	50—0	50—40	50—0
Смешанная порода	40—20	40—20	40—20



Диаграммы химического состава водных вытяжек

генных смешанных пород по структурным признакам. В литологии разновидности пород определяются по преобладанию в их составе какой-либо гранулометрической фракции; пески содержат не менее 50 % песчаной, аргиллиты — не менее 50 % глинистой фракции. В почвоведении породы характеризуются двумя параметрами: гранулометрией и пластичностью. Последняя же зависит не только от содержания тонкопелитовой фракции, но и от влажности пород, количества и состава водорастворимых солей. При литологическом изучении разрезов геологического субстрата, включая и почвенные горизонты, безусловно целесообразно использование единой классификации терригенных пород четвертичных отложений, предложенной Л.В.Пустоваловым в 1944 г., в которой основная часть таксонов определяется по содержанию гранулометрических фракций (как это принято в литологии), но вместе с тем в группе так называемых *неотсортированных кластолитов* выделяются *супеси* и *суглинки*. Данные термины широко используются при характеристике пород почвенных профилей в почвоведении. Классификация приведена в табл. 2 с некоторыми нашими дополнениями.

Важнейшими показателями, характеризующими гидрохимическую среду ЗМП, являются составы поровых вод и водорастворимых солей. Для их изучения используется метод водных вытяжек, в которых определяются: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и pH. При необходимости анализируется NH_4^+ .

Типизация растворов водных вытяжек по их химическому составу проводится в соответствии с принятыми гидрохимическими классификациями природных вод [1, 10, 11]. Выяснение гидрохимических типов поровых растворов лежит в основе определения типоморфных элементов миграции для выделения геохимических ландшафтов по А.И.Перельману [9]. Важная информация может быть получена при расчете по результатам анализа водных вытяжек состава водорастворимых солей [8]. Увеличение с глубиной в их составе роли хлоридов натрия и магния без заметного роста минерализации водных вытяжек свидетельствует о влиянии на поровые растворы ЗМП близко расположенных к дневной поверхности грунтовых вод, а появление еще и хлоридов кальция — о разгрузке минерализованных растворов глубоких водоносных горизонтов. Многократное увели-

чение минерализации водных вытяжек и возрастание роли хлоридов и сульфидов натрия и магния, появление гидрокарбонатов натрия — свидетельствуют о засолении почв в условиях засушливого климата степных и лесостепных ландшафтов.

При картографировании состав водных вытяжек показывается (рисунок) в виде двоянной гидрохимической колонки (пробы Л22/3 и К71/92). В левой колонке приводятся молярные доли (проценты миллимолей) основных анионов, в правой — катионов. Основой для построения колонок является формула Курлова, поскольку органические кислоты в водных вытяжках обычно не определяются. В левой колонке учитывается их расчетная молярная доля (сумма), необходимая для связывания «избытка» катионов в органо-минеральные комплексы. Она рассчитывается как разность между суммами молярных количеств катионов и анионов минеральных кислот.

Слева от диаграммы приведена сумма компонентов водной вытяжки в граммах на 100 г породы (числитель), по которой можно судить о минерализации растворов, и pH (знаменатель), что характеризует актуальную кислотность пород; справа — соотношение между основными компонентами в молярных долях процента. Белое поле показывает сумму ионов, содержание каждого из которых менее 10 %.

Не менее важно для изучения геологической среды субстрата растительности определение в породах состава обменных катионов.

Некомпенсированные электростатические заряды на поверхности минеральных зерен обуславливают процессы сорбции из поровых растворов ионов, которые считаются адсорбированными (поглощенными). Поглощенные катионы участвуют в процессах обратимого обмена с ионами поровых растворов, и поэтому их называют обменными (комплекс обменных катионов). В составе комплекса обычно определяют Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ . Их содержание выражается в молях на 100 г породы. С одной стороны, суммарное количество адсорбированных обменных ионов щелочных и щелочноземельных элементов, выраженное в процентах, дает представление о степени насыщенности пород основаниями, что используется при агрохимической характеристике почв. С другой, увеличение роли обменного H^+ -иона (также в процентах) является показателем процессов выщелачивания пород.

Количество обменного иона H^+ характеризует так называемую потенциальную кислотность. Она увеличивается с ростом интенсивности процессов выщелачивания, в результате которых происходит вытеснение из обменного комплекса катионов щелочных и щелочноземельных элементов H^+ -ионом. Различают два вида потенциальной кислотности пород: гидролитическую и обменную. В составе комплекса обменных катионов показывается гидролитическая кислотность, она дает представление об общем содержании поглощенного водорода. Однако выраженные кислотные свойства пород обусловлены величиной их обменной кислотности, которая определяется лишь той частью поглощенных H^+ -ионов, которые энергетически слабее связаны с кристаллической структурой минералов-сорбентов и поэтому более легко переходят из поглощенного состояния в

поровые растворы, изменяя их кислотные свойства. Обменная кислотность характеризуется рН, содержанием H^+ в молях и количеством подвижного Al^{3+} в миллиграммах и миллимолях на 100 г породы. Методы определения обменных катионов и в т.ч. потенциальной кислотности пород общеизвестны [2—4].

По особенностям состава обменных катионов выясняются гидродинамическая обстановка и гидрохимические условия геологической среды ЗМП. Относительно высокое содержание в обменном комплексе водорода (более 10 %) — свидетельство современных процессов выщелачивания пород в условиях промывного режима и принадлежности конкретной местности к геохимическому ландшафту кислого класса. Высокая насыщенность обменного комплекса щелочными и щелочноземельными компонентами (90—100 %) и преобладанием в их составе кальция характерна для геохимических ландшафтов карбонатного класса. Увеличение в обменном комплексе роли натрия или преобладание суммы $Na^+ + Mg^{2+}$ над содержанием обменного кальция — результат засоления почв, что возможно при высоком уровне зеркала грунтовых вод, непромывном или испарительном (в засушливом климате) режиме в геохимических ландшафтах солонцового или содового класса.

Определение обменной кислотности (рН солевой вытяжки) используется в классификации почв и их пригодности для сельскохозяйственного производства. Обменная кислотность возрастает при прогрессивном заболачивании местности и таким путем сигнализирует о необходимости ее осушения. Присутствие H^+ -иона в солевой вытяжке KCl — надежный критерий для выделения геохимического ландшафта кислого класса. Подвижный алюминий токсичен для большинства сельскохозяйственных культур, и такие почвы нуждаются в мелиорации.

Состав водорастворимых солей, насыщенность пород обменными основаниями и обменная кислотность, а также содержание в породах подвижного алюминия — важнейшие характеристики гидрогео-

химической среды почв, что обуславливает особенности видового состава и бонитет фитоценозов.

При изучении ЗМП гидрогеохимическими методами появляется возможность крупномасштабного районирования территорий различных ландшафтов, с одной стороны, с выделением площадей интенсивного выноса элементов (в т.ч. и техногенных), что обуславливает их максимальную экологическую устойчивость. С другой, выделяются площади с замедленным выносом элементов, т.е. менее экологически устойчивые системы, и площади, где происходит накопление элементов и вследствие этого легко подвергающиеся техногенному загрязнению.

Картирование гидрогеохимических особенностей геологической среды ЗМП обусловит повышенный интерес к Геолкарте-200 как организаций Агропрома, так и областных экологических комитетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексин О.А. Основы гидрохимии. — Л.: Госгидрометеиздат, 1970.
2. Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во МГУ, 1970.
4. Бонч-Осмоловская К.С., Спири Н.С. Методика получения вытяжек из глинистых осадочных пород для изучения составов легкорастворимых солей и поглощенного комплекса // Методические исследования по геохимии терригенных осадочных пород. М., 1956. С. 133—160.
5. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000. — С-Пб.: Роскомнедра, 1996.
6. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. — М.: Высшая школа, 1967.
7. Методические подходы к изучению эколого-геологических систем платформенных областей Сибири / Под ред. В.И. Бгатовой, Н.А. Лизалека. — Новосибирск: СНИИГиМС, 1994.
8. Опыт изучения аazonальных эколого-геологических систем (на примере платформенных областей Сибири) / Под ред. В.И. Бгатовой, Н.А. Лизалека. — Новосибирск: СНИИГиМС, 1994.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. — М.: Высшая школа, 1975.
10. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколова И.Ю. Методы анализа природных вод. — М.: Недра, 1970.
11. Самарина В.С. Гидрогеохимия. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1977.

УДК 55; 504; 504.75; 574; 550.3; 624.131

© В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, 1999

Содержание и значение учения об экологических функциях литосферы

В.Т. ТРОФИМОВ, Д.Г. ЗИЛИНГ (МГУ им. М.В. ЛОМОНОСОВА)

В 1994 г. [3] было введено понятие экологические функции литосферы и в 1996—1997 гг. были сформулированы основные положения о его содержании [2, 4, 5]. Этим было положено начало разработке нового среди экологически ориентированных подходов к изучению литосферы в качестве биотопа экосистем высокого уровня организации (от биогеоценоза и выше). Этот подход базируется на представлениях о тесной функциональной связи состояния биоты и экологического состояния среды ее обитания (в нашем случае — литосферы). В развитие этого тезиса взаимодействие между компонентами литосферы и биоты, включая человека, было предложено изучать и отражать через определенные функциональные зависимости — ресурсную, геодинамическую, геофизико-геохимическую. В 1998 г. геофизическая составляющая была выделена в качестве самостоятельной из геофизико-геохимической вследствие на-

личия собственного объекта исследования — геофизических полей, при сохранении как и у геохимической своей медико-санитарной ориентации. Соответственно были выделены и в первом приближении рассмотрены четыре одноименные экологические функции литосферы и четыре научных направления, их изучающие: экологическое ресурсоведение, экологическая геодинамика, экологическая геохимия и экологическая геофизика [8].

Дальнейшее развитие представлений об экологических функциях литосферы трансформировалось в настоящее время в развитие одноименного учения — учения об экологических функциях литосферы. Под ним, в соответствии с общепринятым содержанием термина учение в работе [1], мы понимаем совокупность теоретических положений и представлений об экологических функциях литосферы, эколого-геологических обстановках, их состоянии и экологичес-

ких свойствах литосферы как ее специфических атрибутивных компонентах и определенную, экологически ориентированную систему воззрений на взаимодействие литосферы и биоты. Это понятие достаточно широкое и охватывает не только идеологию исследования и его функциональную направленность, но и материальные атрибуты объекта изучения, такие как экологические свойства литосферы, эколого-геологические условия, экологическое состояние литосферы и др., т.е. параметры, которые можно измерять, оценивать, классифицировать и моделировать. В таком контексте учение об экологических функциях литосферы должно, по нашему мнению, стать теоретическим базисом экологической геологии в целом и эколого-геологического картирования в частности. Подчеркнем, что экологическая геология рассматривается нами как новое направление в геологии, изучающее экологические функции литосферы, закономерности их формирования и изменения в связи с жизнью и деятельностью биоты, прежде всего человека. Учение об экологических функциях литосферы в соответствии с этим формирует теоретическую основу реального проведения эколого-геологических исследований и отражения соответствующей информации.

Базисные понятия учения об экологических функциях литосферы. Содержание понятий экологическая геология и учение об экологических функциях литосферы было рассмотрено выше.

Введем содержание еще шести понятий:

1) *экологические функции литосферы* — функции (все их многообразие), определяющие (отражающие) роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газы, геофизические поля и протекающие в ней природные и антропогенные геологические процессы, в жизнеобеспечении и эволюции биоты и главным образом человеческого сообщества [2, 5];

2) *экологическое свойство литосферы* — одна из сторон литосферы, ее специфический, экологически значимый атрибут, обусловленный природой ее вещественного состава, геодинамических, геохимических и геофизических полей и органически связанный с жизнеобеспечением биоты, условиями ее существования и эволюции;

3) *эколого-геологическая система* — геологический компонент природной среды (определенный объем литосферы) с находящейся в ней и на ней биотой и включающей три подсистемных блока — литосферный (абиотический), биоту (биотический) и источников воздействия техногенного и природного происхождения;

4) *эколого-геологическая обстановка (условия)* — совокупность конкретных экологических свойств литосферы, отражающих современное или палеосостояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объеме литосферы как среде их обитания;

5) *состояние эколого-геологической обстановки (условий), или экологическое состояние литосферы* (как его нередко называют геологи) — временное ее состояние, оцениваемое спецификой проявления одного, нескольких или совокупностью экологических свойств литосферы, в данный момент времени определяющих степень (уровень) благоприятности и возможности проживания живых организмов;

6) *эколого-геологическая карта* — графо-математическая модель эколого-геологической обстановки литосферы, которая дает обобщенное изображение

на топографической основе оценки состояния компонентов литосферы, отражающих ее экологические свойства (функции).

Объект исследования рассматриваемого учения в планетарном аспекте — экологические свойства литосферы, носителем которых являются ее вещественный состав, геодинамические и энергетические (геофизические) поля. В системном плане это эколого-геологическая система (природная или природно-техногенная), в рамках которой природный литосферный абиотический либо литотехнический абиотический блок — техногенно измененная литосфера (подсистема А) воздействует на биоту (подсистема Б) непосредственно через свои ресурсные, геодинамические, геохимические и геофизические свойства или многоступенчато, опосредованно через техносферу (подсистема В).

Эколого-геологические системы и реализованные на их основе модели по своей сущности могут быть реальными (отражать реальную эколого-геологическую обстановку) и идеальными (отражать представления исследователя об эколого-геологической обстановке на прогнозируемый период времени).

При изучении отдельных экологических функций литосферы объектом исследования выступают вещественные и территориальные ресурсы литосферы и ее неоднородности геодинамического, геохимического и геофизического происхождения, влияющие на биоту. Исходя из этого и с учетом ранее сказанного, констатируем, что учение об экологических функциях литосферы закладывает научно обоснованную возможность вычленения из общегеологического объекта изучения литосферы ту ее часть, те ее свойства, которые не входят в сферу интересов других наук геологического цикла. Это важное теоретическое положение, позволяющее конкретизировать объект изучения экологической геологии и определить круг решаемых ею задач.

Виды и структура экологических функций литосферы. Структура исследований в рамках учения об экологических функциях литосферы определяется количеством функциональных зависимостей литосфера — биота и их содержанием. Ими же определяется и структура экологической геологии, в составе которой выделяются несколько научных разделов, ответственных за изучение определенных экологических функций литосферы. В соответствии с этим и изложенными ранее соображениями [5, 8, 7] выделим следующие экологические функции литосферы и изучающие их научные направления.

Ресурсная функция литосферы определяет роль минеральных, органических и органоминеральных ресурсов литосферы для жизни и деятельности биоты как в качестве биогеоценоза, так и социальной структуры. Она является базовой в системе литосфера — биота, т. к. определяет не только условия жизни и эволюции биоты, но и саму возможность ее существования. Ресурсные зависимости между литосферой и биотой, включая человеческое сообщество, представляются достаточно многогранными и включают следующие аспекты: ресурсы, необходимые для жизни биоты; ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого сообщества; ресурсы как геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты, включая человеческое сообщество (как среда его жизни и деятельности). Первые два аспекта связаны с минеральными ресурсами (включая подземные воды), а последний — с экологической емкостью геологического

пространства в пределах приповерхностной части литосферы.

Ресурсы литосферы, необходимые для жизни биоты представлены горными породами, включающими элементы биофильного ряда, т.е. растворимые элементы, жизненно необходимые организмам и называемые биогенными элементами; кудюриты — минеральное вещество кудюров, являющееся минеральной пищей животных — литофагов. Сюда входят не только элементы, требующиеся в больших количествах — макробиогенные (углерод, кислород, азот, водород, кальций, фосфор, сера), но и в малых количествах — микробиогенные (селен, хром, никель, йод, олово и др.). Последние обеспечивают выполнение биогеохимических функций живым веществом.

Минеральные ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого сообщества, во многом определяют уровень развития человеческого сообщества и включают топливно-энергетические ресурсы; черные и цветные металлы; сырье для химической промышленности, сельского хозяйства и строительной индустрии. По сути они являются базисом пирамиды, отражающей социально-экономические и экологические проблемы развития материальной основы современного общества.

Геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты, в т.ч. как среда жизни и деятельности человека. Здесь можно выделить несколько направлений, отличающихся между собой функциональной ориентированностью: 1) литосфера как место обитания биоты (норные и землеройные животные, обитатели пещер, микроорганизмы, корни растений); 2) литосфера как место подземных сооружений на урбанизированных территориях и зона биологического дискомфорта; 3) литосфера как место захоронения и складирования высокотоксичных и радиоактивных отходов; 4) литосфера как место для расселения человеческого сообщества. Не трудно заметить, что в трех последних направлениях ресурсы литосферы уже ограничены, а для некоторых территорий находятся в предельном состоянии.

Эта функция изучается научным направлением, названным нами *экологическим ресурсоведением* [8]. Оно включает весь спектр вопросов и проблем, связанных с обеспечением биоты и, в первую очередь, человеческого сообщества минерально-сырьевыми ресурсами литосферы и ресурсами геологического пространства с позиций использования его для нужд человечества в эпоху активного техногенеза. Акцент в исследованиях делается не на поиски и подсчет запасов полезных ископаемых, а на оценку их соответствия современному уровню потребления и рационального использования. По существу, должен решаться вопрос о регламентации потребления минерально-сырьевых ресурсов литосферы с учетом сохранения и нормального функционирования экосистем высокого уровня организации. С экологических позиций оцениваются и ресурсы геологического пространства.

Геодинамическая функция литосферы отражает свойство литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные геологические процессы и явления. Их проявление и развитие связано как с внешними космическими факторами, так и со сбросом (разрядкой) напряжений в геофизических полях Земли, а воздействие геологических процессов на

биоту с перемещением вещества земной коры и преобразованием рельефа.

Отличительная черта геодинамической функции — возможность ее реализации как непосредственно в виде негативного по отношению к биоте явления, так и опосредованно через ресурсную, геофизическую и геохимическую функции. Так, оценку площадной эрозии можно рассматривать через интенсивность процесса и площадную пораженность им определенной территории (геодинамический критерий оценки) либо через потерю или сокращение запасов гумуса, земельных ресурсов (ресурсный критерий оценки).

В настоящее время наметились два пути, два подхода к оценке воздействия геодинамического фактора (состояния) литосферы на биоту. Первый связан с анализом и оценкой воздействия отдельных геологических процессов или их парагенетических комплексов главным образом на человека и, по существу, сводится к выявлению экологических последствий проявления этих процессов. Второй путь связан с изучением современных геодинамических зон и аномалий литосферы и их интегральным воздействием на биоту.

Эти аномалии определяют особенности распределения напряженного состояния массивов горных пород, развитие участков повышенной трещиноватости и проницаемости, что, в свою очередь, связано с устойчивостью оснований инженерных сооружений, особенностями циркуляции подземных вод, интенсификацией неблагоприятных геологических и экологически опасных техногенных процессов. Активные геодинамические аномалии могут контролировать проникновение физических и химических загрязнителей в геологическую среду, влиять на окружающий ландшафт, биологические объекты, на здоровье человека и существенно снижать ценность земельных ресурсов, влиять на уровень земельной ренты в пределах городских территорий.

Раздел экологической геологии, исследующий все вопросы, связанные с изучением воздействия природных и антропогенных геологических процессов и геодинамических аномалий на биоту как с позиций оценки возможных катастроф, так и комфортности ее проживания, назван *экологической геодинамикой* (последнее относится только к человеческому сообществу).

Геохимическая функция литосферы — свойства геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом и здоровье человека в частности. Объект исследований — геохимические неоднородности вещественного состава компонентов литосферы (горные породы, донные осадки, почвы, подземные воды, газы) природного, природно-техногенного или техногенного происхождения. В качестве предмета исследований рассматривается система знаний о патогенных геохимических полях природного либо техногенного генезиса, вопросы миграции элементов и их воздействие на живые организмы, а в общем виде — знания об эколого-геохимических свойствах литосферы.

Основная отличительная особенность эколого-геохимической функции литосферы — ее медико-санитарная ориентированность. В силу этого в сферу эколого-геохимических исследований попадают преимущественно те геохимические неоднородности, которые представляют потенциальную опасность

для состояния и жизнедеятельности биоты, в т. ч. и человека как биологического вида.

Геохимические неоднородности литосферы могут быть обусловлены как повышенным содержанием элементов относительно фона, так и пониженным содержанием элементов (их соединений) по сравнению с фоновым, а также дисбалансом определенных элементов. В зависимости от депонирующей среды геохимические неоднородности подразделяют на: 1) литохимические — в горных породах, донных осадках; 2) гидрохимические — в подземных водах; 3) атмосферические — в газовом составе почв, горных пород, подземных вод; 4) снеохимические — в снеговом покрове; 5) педохимические — в почве; 6) биохимические — в биоте.

Еще одно принципиально важное положение при эколого-геохимических исследованиях — выявление и вычленение путей воздействия химических элементов литосферы на человека, а точнее на состояние его здоровья, или медико-биологические аспекты его существования. Обзор публикаций позволяет выделить три основных пути такого воздействия: воздушный — через попадание токсикантов в виде газа или аэрозолей в организм человека; водный — через подземные воды, употребляемые для питьевого водоснабжения; пищевой — через трофическую цепь от загрязненных пород к растениям, животным и человеку. В реальной жизни они чаще всего проявляются совместно или в парных комбинациях, усугубляя негативное воздействие на население, проживающее в зоне воздействия геохимических факторов.

Экологическая геохимия как научный раздел экологической геологии включает вопросы, связанные с изучением геопатогенных геохимических аномалий (неоднородностей земной коры) природного и техногенного происхождения, среди которых главную роль играют литогеохимические, гидрогеохимические и атмогеохимические. Объектом ее исследований являются вещественный (минеральный) состав литосферы, вопросы миграции подвижных соединений химических элементов, их аномальных концентраций и характер воздействия на биоту.

Геофизическую функцию литосферы можно рассматривать как совокупность свойств геофизических полей (неоднородностей) литосферы, влияющих на состояние биоты и здоровье человека. По происхождению эти геофизические поля могут быть как природными, так и техногенно преобразованными или техногенно обусловленными. Другими словами, геофизическую функцию можно определить как способность литосферы обеспечивать и поддерживать на поверхности и в верхней части разреза планеты энергетические условия, пригодные для существования жизни.

Энергетическое воздействие окружающей среды на живые организмы реализуется через геофизические поля различной природы — естественные геофизические (космического и земного происхождения) и техногенные физические. Следовательно, объектом эколого-геофизических исследований литосферы являются природные (геофизические) и техногенные физические поля, а точнее, их аномальные проявления (экогеофизические и экофизические аномалии или возможные патогенные зоны).

Геофизические поля (естественные поля Земли) включают следующие виды: гравитационное (поле силы тяжести), магнитное, электрического тока (постоянного, переменного и медленно меняющегося),

температурное, сейсмическое (поле упругих механических колебаний), радиационное (поле ионизирующего излучения). К числу наиболее действенных с экологических позиций следует относить гравитационное, температурное, геомагнитное, электрическое и радиационное поля.

Термин физические поля определяет поля техногенной природы (техногенные физические поля), связанные с работой механизмов и машин, энергетических установок, транспортных средств, средств связи и других технических источников, приуроченных как к литосфере, так и смежным по отношению к ней природным средам. Это, в первую очередь, такие физические поля, как вибрационное, акустическое и электромагнитное.

Экологическая геофизика как научный раздел экологической геологии включает все вопросы, связанные с изучением геопатогенных геофизических аномалий (аномалий геофизических полей) природного и техногенного происхождения, таких как гравитационные, магнитные, электромагнитные, тепловые, радиационные. Изучается отклонение этих полей от нормы и их воздействие на биоту с привлечением методов геофизики, геотектоники, сейсмотектоники и данных медико-биологических дисциплин. Как и для экологической геохимии, здесь необходимо тесное сотрудничество с представителями медико-санитарной службы.

Рассмотренные теоретические положения, по существу, определяют структуру и объем знаний, необходимых для изучения литосферы с экологических позиций. С другой стороны, они обосновывают тезис о необходимости комплексного эколого-геологического изучения литосферных блоков или отдельных территорий путем исследования всех видов функциональных зависимостей компонентов литосферы и биоты. Ни один научный раздел экологической геологии в отдельности не может дать полную и объективную оценку современного экологического состояния литосферы.

С исследованием экологических функций литосферы связан определенный круг содержательных задач, отличающихся четкой экологической направленностью. Они включают вопросы обеспечения существования и комфортности проживания живых организмов и главным образом человека, нормального функционирования экосистем, рационального недропользования, оценку экологических последствий техногенного воздействия на литосферу и т.д. Основные группы этих задач приведены в табл. 1, где наглядно проиллюстрировано, что в основе этих содержательных задач, их систематики лежат теоретические положения учения об экологических функциях литосферы.

Критерии оценки экологического состояния литосферы. Этот вопрос относится к важнейшим теоретическим и методическим положениям экологической геологии. Не останавливаясь на общих вопросах, связанных с выбором критериев оценки экологического состояния компонентов литосферы и взаимодействующей с ней биоты (они приведены в работе [2]), отметим главное с рассматриваемых нами позиций. Все критерии оценки должны быть органически связаны с экологическими свойствами литосферы и учитывать соответствующие функциональные зависимости между ее компонентами и биотой. Эта идея отражена в табл. 2, в которой приведена принципиальная схема оценки экологического состояния литосферы, биоты и экосистемы.

1. Экологические функции литосферы и связанные с ними эколого-геологические задачи

Функция литосферы	Структура	Задачи
Ресурсная	Ресурсы для биоты (минеральные элементы биофильного ряда)	Оценка ресурсов биофильного ряда с учетом лимитирующих факторов среды накопления для обеспечения нормального существования биоты Выяснение закономерностей пространственного размещения макро- и микробиогенных элементов и их соединений с экологических позиций Законы осадочной седиментации подвижных форм ряда биофильных элементов и их экологическая значимость Оценка экологических последствий извлечения и утилизации минерального вещества, включающего элементы биофильного ряда
	Ресурсы для человеческого сообщества	Оценка минеральных ресурсов, обеспечивающих потребности и развитие человеческого общества, с выделением лимитирующих элементов и их соединений Современные тенденции и перспективы развития минерально-сырьевой базы с экологических позиций Повышение эффективности использования природных минеральных ресурсов с учетом рационального природопользования и экологических последствий Экологические последствия нерационального природопользования Оценка и сохранение ресурсов подземных вод питьевого и технического назначения для обеспечения нормального функционирования экосистем Оценка состояния и динамики изменения гидродинамической и балансовой структуры подземных вод с экологических позиций Региональная оценка ресурсов подземных вод питьевого назначения с учетом техногенной нагрузки с экологических позиций Оценка экологических последствий истощения минеральных ресурсов
Геодинамическая	Ресурсы геологического пространства	Региональная и локальная оценки в зоне хозяйственного освоения ресурсов геологического пространства (земной поверхности) для обеспечения комфортности проживания населения Рациональность и возможность использования осваиваемой территории с экологических позиций Рациональное использование подземного геологического пространства на урбанизированных территориях с учетом комфортности проживания населения Выбор максимально экологически безопасных мест захоронения высокотоксичных и радиоактивных отходов Разработка рецептур и технологий утилизации твердых и жидких промышленных и бытовых отходов для обеспечения нормального функционирования экосистем Разработка методов и рецептур для управления состоянием и свойствами массивов пород (природных, техногенно нарушенных, техногенно созданных) с целью сохранения или улучшения их экологических функций
	Катастрофические геологические процессы (непосредственная угроза существованию биоты)	Целевое оценочное районирование территории с выделением районов с высокой повторяемостью катастрофических геологических процессов с учетом экологических последствий Влияние техногенеза на развитие или активизацию катастрофических геологических процессов с учетом экологических последствий Прогноз развития катастрофических геологических процессов в пространстве и во времени (с учетом «наведенных» процессов) для оценки экологического риска в связи с решением экологических вопросов Эколого-геологическое обоснование инженерной защиты территорий от катастрофических природных и антропогенных геологических процессов для обеспечения комфортности и безопасности проживания населения
Геохимическая	Неблагоприятные геологические процессы (дискомфортность существования человека)	Целевое оценочное районирование территорий с выделением районов с геодинамической дискомфортом проживания населения Влияние техногенеза на развитие или активизацию неблагоприятных геологических процессов с учетом экологических последствий Прогноз развития неблагоприятных геологических процессов (площадной пораженности и развития во времени) для оценки геологического риска Вопросы оценки уровня дискомфорта проживания населения под влиянием неблагоприятных геологических процессов Оценка устойчивости территории к техногенным воздействиям с экологических позиций Обоснование необходимости мер инженерной защиты территорий от негативных геологических процессов с экологических позиций
	Природные и техногенные геохимические поля (литогеохимическое, сноу-химическое, гидрогеохимическое, атмогеохимическое) и выделение патогенных аномалий	Изучение природных и техногенных геохимических полей для оценки их воздействия на биоту и выделение патогенных аномалий Оценка экологических последствий геохимического воздействия на литосферу (включая подземные воды) различных видов хозяйственной и технической деятельности человека Оценка уровня биологического дискомфорта территорий, обусловленного геохимическим патогенным воздействием на биоту Целевое районирование территории по уровню биологического дискомфорта от геохимических неоднородностей литосферы Рецептура и технология обезвреживания и изъятия из природных кругооборотов токсичных и радиоактивных элементов и соединений путем осаждения и изомерных замещений, накопления и нейтрализации на геохимических барьерах, разбавления для снижения негативного воздействия на биоту Оценка состояния и динамики изменения химического состава (качества) подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения для обеспечения экологически чистого водоснабжения населения Оценка защищенности подземных вод от антропогенного загрязнения с учетом экологических требований Оценка устойчивости (или чувствительности) территории к антропогенному загрязнению по экологическим критериям Эколого-геологическое обоснование управляющих решений по снижению геохимически обусловленного дискомфорта проживания населения
Геофизическая	Природные и техногенные геофизические поля (магнитное, электрическое, вибрационное, гравитационное, радиационное) и выделение патогенных аномалий	Изучение природных и техногенных геофизических полей для оценки их воздействия на биоту и выделение патогенных аномалий Оценка экологических последствий воздействия аномалий геофизических полей литосферы на биоту и человека Оценка уровня биологического дискомфорта территорий, обусловленного патогенным воздействием геофизических и физических полей Целевое районирование территории по уровню геофизически обусловленного дискомфорта проживания населения Изучение зон разгрузки ювенильных газов с позиций опосредованного патогенного воздействия последних на биоту Эколого-геологическое обоснование управляющих решений по снижению биологического дискомфорта от воздействия геофизических полей на территориях городских агломераций

Не трудно заметить, что ее теоретическая и методическая основа базируется на представлениях об экологических функциях литосферы и корреляции экологического состояния компонентов литосферы с состоянием биоты и экосистемы в целом.

Для оценки экологического состояния литосферы и ее компонентов используются, как известно, два типа критериев [2, 8]: прямые и индикаторные, которые по характеру оценки подразделяются на группы: ресурсную, геодинамическую, геохимическую и геофизическую. Прямые критерии оценки в рамках этих групп регламентируются нормативно-директивными документами и ранжируются по отношению к ПДК, ПДВ, ПДС, ПДН либо фону и кларку. Они общеприняты и используются как при эколого-геологических, так и инженерно-геологических исследованиях.

Индикаторные критерии (индикационные) более специфичны. В ресурсной группе они включают остаточные запасы с учетом достигнутого уровня потребления (число лет), для ресурсов, необходимых для жизни биоты, и ресурсов геологического пространства критерии оценки пока вообще не разработаны. В геодинамической группе они включают помимо площадных, объемных (энергетических) и динамических еще и медико-санитарные (для оценки воздействия катастрофических процессов), ботанические и зоологические. В геохимической группе критериев — это оценка степени загрязнения литосферы через геохимические и биохимические показатели загрязнения (Z_c — суммарное химическое загрязнение; A_k — отношение содержания элемента в золе растений к его содержанию в горной породе), коэффициент техногенной нагрузки, избыток, недостаток или дисбаланс элементов в породах, почвах и растительности. В геофизической группе критерии оценки разработаны крайне слабо за исключением оценки уровня радиационного излучения, который гостирован.

Учение об экологических функциях литосферы как теоретическая основа методики составления эколого-геологических карт. Определение содержания таких карт — геологических карт нового типа — приведено ранее. При таком их содержании в основе методики составления эколого-геологических карт в качестве теоретической основы должно быть положено учение об экологических функциях литосферы. Оно позволяет вычленив объект эколого-геологических исследований в виде эколого-геологических свойств литосферы и их взаимосвязей с биотой и техногензом.

Опираясь на эти представления, нами были разработаны и предложены концептуальные основы эколого-геологического картографирования [6], которые можно рассматривать в качестве его методической базы, отвечающей требованиям, изложенным выше. Они включают ранее приведенное определение содержания понятия эколого-геологическая карта и следующие позиции:

1) ранжирование экологического состояния литосферы или ее компонентов на картах должно проводиться на согласованное число классов;

2) критериями выделения классов эколого-геологического состояния литосферы и связанных с ними зон экологического состояния экосистем на картах служат показатели, которые разделены на тематические, пространственные и динамические;

3) выделение зон и классов экологического состояния литосферы и экосистемы может и должно осуществляться на основе небольшого числа наиболее представительных показателей, но обязательно с использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и динамических критериев оценки;

4) основные требования к геологической основе эколого-геологической карты — отображение на ней показателей, на базе которых возможны площадная

2. Принципиальная схема оценки экологического состояния литосферы, биоты и экосистемы

Параметр	Категория (уровень)			
	I	II	III	IV
	Экологическая норма*	Экологический риск*	Экологический кризис*	Экологическое бедствие*
Литосфера и ее компоненты	Удовлетворительное благоприятное	Условно удовлетворительное (относительно неблагоприятное)	Неудовлетворительное (весьма неблагоприятное)	Катастрофическое
Ресурсное воздействие	Слабое	Умеренное	Сильное	Опасное
Геодинамическое воздействие	»	»	»	»
Геохимическое воздействие	»	»	»	»
Геофизическое воздействие	»	»	»	»
Условия жизнедеятельности человека	Комфортные	Дискомфортные	Сильно дискомфортные	»
Состояние здоровья человека	Здоровое	Напряжение	Утомление	Болезнь
Гигиеническое состояние среды (по В.М.Прусакову и К.А.Бушугеву)	Малоопасное	Умеренно опасное	Опасное	Чрезвычайно опасное
Качество территориального ресурса	Высокое	Среднее (повышенное)	Пониженное	Низкое
Условия гомеостаза экосистемы	Не вызывает реакции (возмущения экосистемы)	Предел толерантности экосистемы, ее способность противостоять внешнему воздействию		Разрушение, гибель экосистемы

* Экосистема, по Б.В.Виноградову

оценка экологического состояния картируемого объема литосферы и разработка прогнозных оценок;

5) классификация эколого-геологических карт по содержанию и масштабу должна учитывать все их многообразие и обеспечивать возможность учета эколого-геологической обстановки при реальном проектировании экологически ориентированных мероприятий;

6) оценка экологического состояния литосферы отображается на эколого-геологических картах всех типов *фоновой цветовой закрашкой*;

7) выбор способов отображения на карте интегральной оценки экологического состояния литосферы может проводиться на основе «суммирования» оценок различных экологических свойств отдельных компонентов литосферы разными способами.

Кратко раскрывая содержание первой из этих позиций, подчеркнем, что на современном этапе оптимальна четырехранговая структура, предусматривающая выделение класса удовлетворительного, благоприятного состояния (зона экологической нормы), класса условно удовлетворительного, относительно неблагоприятного состояния (зона экологического риска), класса неудовлетворительного, весьма неблагоприятного состояния (зона экологического кризиса) и класса катастрофического состояния (зона экологического бедствия) [2]. При использовании предложенного подхода самым важным и принципиальным является даже не столько число выделенных зон и классов состояний, а обязательное соответствие состояния экосистемы и ее биотической составляющей (в данном случае литосферы) с ее компонентами. Только тогда обеспечивается эколого-геологическая оценка состояния объекта исследований. Общее представление об изложенном подходе к оценке экологического состояния литосферы и ее компонентов дает табл. 2 и работа [2].

Вторую позицию прокомментируем так. Тематические критерии выделения классов эколого-геологического состояния литосферы и связанных с ним зон экологического состояния экосистем являются по сути индикаторными (индикационными) и относятся к биотическим критериям, позволяющим на основе ботанических, зоологических, медико-санитарных индикаторных критериев оценивать состояние биоты и экосистемы в целом. Выбор их зависит от конкретных ландшафтно-климатических и геологических условий территории и степени антропогенного влияния. Эти оценки дополняются анализом пространственных и динамических критериев, учитывающих площадь поражения и скорости нарастания негативных явлений через прямые характеристики (проценты площади, проценты в год и т.д.). Оценка состояния литосферы проводится на основе ресурсных, геодинамических, геохимических и геофизических показателей. Ресурсные показатели дают представление о вещественно-энергетическом состоянии, геохимические и геофизические — о загрязнении и развитии геопатогенных аномалий, геодинамические — о развитии деструктивных геологических процессов природного и антропогенного происхождения.

В пояснение третьей позиции важно отметить, что единого интегрального показателя состояния литосферы и экосистемы в природе не существует; однако число наиболее представительных показателей может быть сведено к разумному минимуму.

Четвертая позиция достаточно ясная. Добавим лишь, что геологическая основа должна позволить

осуществлять обоснованное вычленение территорий или литосферных блоков, однородных по строению и близкой реакции на природное или техногенное воздействие и его экологические последствия.

Пятая позиция до сих пор в контрастном виде не обсуждалась в литературе. Предполагается выделять три типа эколого-геологических карт: эколого-геологической обстановки, эколого-геологического районирования и эколого-геологические прогнозные. Первые два типа относятся к категории оценочных карт, третий — к оценочно-прогнозным картам. В каждом типе карт выделяются частные (аналитические) и комплексные (синтетические). По масштабу, аналогии с инженерно-геологическими картами они подразделяются на обзорные (мельче 1:1 000 000), мелкомасштабные (1:1 000 000—1:500 000), среднемасштабные (1:200 000—1:50 000) и крупномасштабные (от 1:25 000 и крупнее). Средне- и особенно крупномасштабные являются картами, которые могут быть использованы при реальном проектировании экологически направленных мероприятий.

Последняя позиция также требует ускоренной разработки. Нами на основе опыта работ в условиях отсутствия единого интегрального показателя оценки экологического состояния литосферы предлагается оценивать его состояние на основе установления класса состояния *по наиболее экологически неблагоприятному компоненту литосферы или ее экологической функции*. Остальные компоненты и их экологическое состояние отображаются либо на циклограммах, либо через числовой и буквенный код на основе соответствующих матриц.

Приведенная в настоящей статье аргументация позволяет говорить, что учение об экологических функциях литосферы можно по праву считать теоретическим базисом нового научного направления в системе геологического знания — *экологической геологии*. Оно позволяет на единой теоретической основе объединить в единой системе эколого-геологическое состояние литосферы с экологическим состоянием биоты или экосистемы в целом, а также с единых методических позиций систематизировать и отражать на графических моделях эколого-геологическую информацию. Учение об экологических функциях литосферы открывает возможность аргументированного вычленения объекта и предмета изучения экологической геологии и ее научных разделов. Одновременно оно решает и проблему обоснования сфер влияния наук, занимающихся экологической проблематикой в геологии, найти свою «экологическую нишу».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая советская энциклопедия. Т. 27. — М.: Советская энциклопедия, 1977.
2. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997.
3. Трофимов В. Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология в программе «Университеты России» // Геоэкология. 1994. № 3. С. 109—111.
4. Трофимов В. Т., Зилинг Д.Г. Содержание, объект и предмет экологической геологии // Программа «Университеты России». Геология. Кн. 2. 1995. С. 89—96.
5. Трофимов В. Т., Зилинг Д.Г. Экологические функции литосферы // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1997. № 6. С. 13—21.
6. Трофимов В. Т., Зилинг Д.Г., Красилова Н.С. Концептуальные основы эколого-геологического картографирования // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1998. № 5. С. 61—71.
7. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Методы инженерной геологии в исследовании экологических функций литосферы // Геоэкология. 1998. № 4. С. 96—101.
8. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Теоретические основы экологической геологии // Изв. РАЕН. Секция наук о Земле. Спец. выпуск. 1998. С. 50—70.

Геологический Атлас России*

В.П.ФЕДОРЧУК (ВИЭМС)

Это уникальное издание подготовлено большим коллективом специалистов, сотрудников различных геологических организаций России, объединивших усилия в рамках неформального Межрегионального центра по геологической картографии (Геокарт). Инициатором такого издания и координатором работ был Н.В.Межеловский, доктор геолого-минералогических наук.

Ответственный редактор Атласа А.А.Смыслов; в составе главной редакционной коллегии — В.П.Орлов, Б.А.Яцкевич, А.Ф.Морозов, А.Д.Шеглов, В.М.Терентьев, А.Т.Тихомиров (МПР), Н.М.Проскуряков, В.С.Литвиненко, А.А.Смыслов, А.Н.Тихонов (Госкомвуз), Н.П.Лаверов, Д.В.Рундквист (РАН), Н.В.Межеловский (Геокарт).

Пояснительные записки к Атласу (69 п. л.) и условные обозначения ко всем 40 его листам (на самом деле их 42 — нет карты геофизической изученности и одного из приложений) даны на русском и английском языках. К объяснительным запискам, которые, как и карты объединены в 4 блока, прикладываются чрезвычайно наглядные схемы, в обобщенном виде отражающие главные идеи соответствующего листа карты, что в большей степени способствует пониманию как самой карты, так и текстовых к ней приложений. Выбор масштаба карт 1:10 000 000 надо признать достаточно удачным для пользования. Следует особо подчеркнуть, что в основу всех построений положены результаты геологических и других исследований, выполненных в более крупном масштабе. Как известно, любая, даже самая достоверная на момент составления карта значительно устаревает в течение последующих 10—20 лет как в результате появления нового фактического материала, так и при возникновении новых геологических и других концепций. Предлагаемый Атлас аккумулирует все последние достижения отечественной и мировой науки и поэтому рассчитан на длительное пользование.

Атлас представлен четырьмя самостоятельными блоками карт, сгруппированными по содержанию и целевому назначению: 4 карты геолого-картографической изученности территории Российской Федерации и условий проведения геолого- и горноразведочных работ; 18 карт геологического строения и геофизических, а также геохимических характеристик, отражающих строение и геодинамику развития недр России; 12 карт минерально-сырьевого направления (закономерности размещения месторождений полезных ископаемых); 8 карт экономического профиля.

Блок 1 (4 карты): геолого-картографическая, геофизическая и геохимическая изученность и районирование территории РФ, а также геолого-экономические условия проведения геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых. Данные

карты — основа для разработки стратегии долгосрочного развития региональных геологических исследований и определения ключевых направлений прогнозно-поисковых работ.

При рассмотрении этого блока карт возникают следующие соображения: 1) территория РФ изучена не так уж полно и детально, как это представлялось ранее по отрывочным публикациям — работы здесь хватит еще не одному поколению геологов; 2) остается широкое поле деятельности для проведения геофизических работ как на нефть и газ (много старых съемок, достоверность которых не отвечает современным требованиям), так и на рудные полезные ископаемые (в первую очередь в платформенных областях с глубоко погруженным фундаментом, где возможно обнаружение месторождений как традиционного типа, например, Fe-джеспилитового, так и принципиально новых, таких как Олимпик Дэм в Австралии); 3) непозволительно отстают геохимические работы разного масштаба. Напомним, что территория Китая практически вся покрыта геохимической съемкой, что привело к открытию сотен новых рудных и нерудных объектов, тогда как в России, где зародился метод геохимических поисков, нет даже органа, отвечающего за их проведение; 4) большая часть территории РФ относится к труднодоступным и слабо освоенным районам, тогда как именно с ними в значительной степени связаны перспективы возможного расширения минерально-сырьевой базы страны. Однако обвальное падение цен на энергоносители и транспортные услуги делают эту задачу совершенно нереальной. Во всем мире энергетика, транспорт и связь — это три «кита», обеспечивающие развитие народного хозяйства, у нас же эти «киты» являются его главным тормозом.

Блок 2 — 17 карт (18 листов): геологическая карта России и прилегающих акваторий, то же для аномальных магнитного и гравитационных полей, карты плотностей дифференциации мантийно-коровых блоков, петроплотностная (петрофизическая) и петромагнитная карты геологических формаций, геотермическая и космогеологическая карты, тектоническая карта, карта структурно-формационных ярусов (с приложением), карта геодинамических систем литосферы, карты геодинамическая, структурно-формационных комплексов, мантийного магматизма, морфоструктур центрального типа, рельефа подошвы литосферы (по глубинам заложения структур центрального типа), геохимическая и гидрогеохимическая.

Геологическая карта содержит все последние достижения геологических работ. Как уже отмечалось, геологическая карта быстро устаревает и требует периодического обоснования. Однако настоящая карта устареет не скоро, причем не из-за ограниченности отдельных геологических концепций, а из-за отсутствия средств на проведение региональных исследований. То же самое можно сказать и в отношении остальных карт блока 2. Отметим лишь, что боль-

* Геологический Атлас России. Масштаб 1:10 000 000. — М.—С-Пб., 1996.

шинство из них не имеют аналогов и составлялись впервые. Все они удачно дополняют друг друга и могут служить хорошей основой для разработки долгосрочных планов дальнейших работ комплексного типа. По новизне и нестандартному подходу к построению особо выделяются геотермальная, гидрохимическая и космогеологическая карты, тогда как на геохимической карте недостаточно исходного фактического материала, а глубинные карты (по данным геофизики) допускают неоднозначность толкования. Можно предъявить претензии и к геодинамической карте. Тем не менее, все эти карты могут быть использованы при региональном прогнозировании; ведь сейчас все более четко проявляется минерало-контролирующая роль как глубоких (нижняя кора), так и сверхглубоких (мантийные выступы) и даже сверх-сверхглубоких («плюмы») структур Земли.

Блок 3 представлен 12 минерагеническими картами: полезных ископаемых России (сводная), угленосности, сланценосности и геохимической специализации углей и горючих сланцев, нефтегазосности, урановых месторождений, неметаллических полезных ископаемых, размещения и минерагенической специализации щелочных магматических комплексов, месторождений золота и платины, золотосности, геохимических типов рудной минерализации, ресурсов геотермального теплоснабжения, уникальных месторождений полезных ископаемых, металлогенических зон.

Все эти карты в основном базируются на материалах карт блока 2. Их минерагеническая нагрузка преследует двоякую цель: с одной стороны, это фиксация уже достигнутого (регистрационные карты месторождений), а с другой, выделение прогнозных площадей для постановки поисковых работ как на уже апробированные типы месторождений полезных ископаемых, так и на альтернативные источники минерального сырья, в т.ч. нетрадиционного. Сводные материалы по таким стратегическим видам минерального сырья, как уран, золото и платина ранее не публиковались, однако и по «открытым» видам полезных ископаемых из представленных карт внимательный читатель может почерпнуть много нового. Главное — на картах наглядно показаны резервы, которыми еще обладает наша минерально-сырьевая база, особенно в области топливно-энергетического сырья, а в первую очередь это касается углеводородов, ядерного горючего и геотермальной энергии.

Не имея возможности детального рассмотрения каждой из представленных карт, остановимся только на карте, отражающей геолого-тектоническую позицию уникальных месторождений. Это — первый опыт такого рода, поэтому, естественно, он вызывает и больше всего вопросов.

В качестве уникальных авторы выделяют 18 месторождений нефти и газа (2 — нефтяных, 11 — газовых и 5 — нефтегазовых), 4 — угля, 23 — рудных (Ni, Cu, Ta, Nb, PЗЭ, P, Fe, Au, Ti, V, Pt, Ag, Pb, Zn, U, Sn) и 11 — нерудных (апатиты, нефелин, поваренная и калийные соли, бром, сера, слюда-мусковит, чароит, асбест, янтарь, шунгит), а также 3 — алмазных. Сле-

дует отметить, что, во-первых, понятие «уникальные» еще точно не выкристаллизовалось: есть месторождения, уникальные по условиям образования (шунгиты), типу руд (дисперсное золото), минеральному составу (чароит), качеству сырья (урановые типы «несогласия») и др., а есть просто очень крупные по запасам (нефть, газ, уголь, железные, марганцевые и хромовые руды и др.); для некоторых месторождений оба эти подхода могут совмещаться (Олимпик Дэм, Ярегское, Альмаден, Сигуаньшань). Во-вторых, для каждого вида полезных ископаемых существует своя шкала «уникальности», различающаяся иногда на много порядков (железо-золото, уголь-алмазы и т.д.); в-третьих, то же самое можно сказать и в отношении регионов: например, крупное месторождение меди в Европе не будет таким же в Чили и т.д. Поэтому следует говорить, скорее, не об уникальности, а сверхкрупности, причем только применительно к Российской Федерации.

Можно поспорить и в отношении факторов, определяющих условия появления сверхкрупных (или сверхбогатых, что, конечно, не одно и то же) месторождений. Нам импонирует подход к этой проблеме Чен Гоа, который такими условиями применительно к рудным месторождениям считает наличие пяти «много»: многостадийность, гетерогенность (множественность источников рудных компонентов), длительность периода формирования, многокомплексность, разнообразие рудообразующих факторов. К этому перечню можно добавить и «антианалогичность»: сверхкрупные месторождения (Альмаден, Олимпик Дэм) характеризуются совершенно необычной геолого-металлогенической позицией, не имеющей аналогов среди других месторождений данного вида полезного ископаемого.

Блок 4 из 8 листов включает карты: ландшафтную, неотектонической активности, литосферы, радио-геохимическую, радоноопасности, радиоационных доз естественного гамма-излучения, объектов ядерного топливного цикла и радиоактивного загрязнения, инженерно-экологического состояния недр и условий освоения подземного пространства России. Перечисление карт, представленных в этом блоке, показывает, что практически все они имеют геоэкологическую направленность. Эти карты весьма полезны при разработке долгосрочных планов экономического развития страны и освоения новых районов. Ранее опыта составления таких карт у нас не было.

В заключение отметим, что рецензируемый Атлас следует рассматривать одновременно с серией книг, изданных «Геокарт». Первый их комплект может служить методическим пособием при геологическом и специализированном картировании разнотипных районов, а второй (его издание еще продолжается) будет полезным при проведении поисковых и геолого-оценочных работ. Как Атлас, так и методические пособия рассчитаны на широкий круг отечественных специалистов разного профиля. Однако, несомненно, он окажется полезным и для наших коллег из стран СНГ, а также КНР, с которой у нас самая протяженная граница.

Петрохимическая диаграмма и петрогенетическая модель

А.Ф.БЕЛОУСОВ (ИГГиМ СО РАН)

В журнале Отечественная геология (№ 5, 1995 г.) в статье Л.С.Бородина «Эволюция континентальной коры: петрохимические тренды и средние содержания химических элементов» автор обсуждает проблему зрелости коры, исходя из петрохимии магматических пород, с помощью оригинальной трендовой диаграммы в декартовых координатах $(Na+K)/Ca$ — A_c , где A_c — универсальный параметр кислотности пород. Диаграмма и ее приложения развиваются Л.С.Бородиным уже около 20 лет и получили некоторое распространение среди отечественных производственных и академических геохимиков, петрографов и геологов. В данной рецензии нам хотелось бы обратить внимание на содержательные (химические) и математические особенности диаграммы Л.С.Бородина, которые выделяют ее на фоне множества предложенных в литературе петрогеохимических диаграмм. Эти особенности позволяют рассматривать диаграмму не как рядовую классификационную, а как автомодельную схему.

Оба координатных параметра диаграммы довольно просто вычисляются по атомным количествам порообразующих элементов. Параметр A_c рассчитывается по всем девяти металлам (Me), входящим в силикатный анализ магматической породы, включая две валентные формы железа, и является показателем уровня общей кислотности — основности породы. Следовательно, составы силикатных магматических пород хорошо разделяются во всем поле возможных составов: от ультраосновных до салических. В этом — одно из важных преимуществ данной диаграммы (и некоторых других, где прямо учитываются общая основность — кислотность, меланократовость — лейкократовость) нам теми, которые построены на салической базе (кремнезем — щелочи, кремненасыщенность — анортитовость и т.д.).

В расчетный параметр A_c содержания элементов (Me) введены с ранговыми коэффициентами $B_c=1\div9,5$ (1Si; 1,5Ti; 2Fe³⁺; 3Al; 5Fe²⁺; 5Mn; 5,5Mg; 7,5Ca; 8,5Na; 9,5K). Коэффициенты учитывают вносимый элементами относительный пай кислотности — основности, который отражает потенциал ионизации (энергию присоединения либо отрыва электрона), т.е. химическую активность элемента. В конечном виде A_c представлена: $A_c=4Si/\Sigma MeB$, где A_c — безразмерная величина. Безразмерный параметр $(Na+K)/Ca$ характеризует количественное соотношение наиболее основных (щелочные и известковые) компонентов породы. На диаграмме данный параметр рассматривается как функция аргумента A_c . Он изменяется нелинейно, поэтому для спрямления трендов берется логарифмический масштаб по оси $(Na+K)/Ca$. График оказывается полулогарифмическим.

Аналогичные полулогарифмические и логарифмические графики используются, как известно, для выделения однородных подвыборок в неоднородной (полимодальной) статистической выборке объектов, для выделения совокупностей объектов с определенной фрактальной размерностью, однородных гранулометрических подсовкупностей (популяций) механических осадков с определенным механизмом отложения и т.д. Однородная совокупность или под-

совокупность выражается на таком графике отрезком прямой (прямолинейный тренд).

На диаграмме Л.С.Бородина прямолинейную полосу занимают точки составов пород магматического комплекса или его части (петрохимическая серия). Оси полос сходятся в одну точку на оси $A_c=0,5$, что облегчает сопоставление составов серий. Прямолинейность оси тренда означает, что на всем протяжении сохраняется константа — постоянные отношения координатных параметров ($A_c = 0,5$) и $(Na+K)/Ca$. Заметим, что все использованные при построении координатных параметров функции непрерывны, соблюдена топологическая непрерывность.

В итоге имеем следующее.

1. Химическая система магматических пород охарактеризована обобщенными параметрами состава и кислотно-основных свойств, в которых учтены содержания всех главных петрогенных компонентов.

2. Данные параметры вычислены как безразмерные величины.

3. Взятые математические функции непрерывны.

4. Обнаруживается константа, характеризующая систему, здесь — геометрическая функция двух координатных параметров.

Налицо все условия, необходимые и достаточные для так называемых автомодельных функций, которые известны и как критерии подобия. Таковы, например, безразмерные числа Рейнольдса, которым ставятся в соответствие определенные (ламинарный, турбулентный) режимы течения флюидов, многочисленные критерии подобия для моделирования систем деформации и разрушения массивов горных пород и т.д.

Таким образом, автор диаграммы эвристическим путем пришел к автомодельной схеме, описывающей сложную петрохимическую систему. Это, насколько нам известно, первый пример схемы подобного рода в практике петрогеохимических исследований. До сих пор схемы автомодельной природы использовались лишь для наиболее простых геохимических систем — радиоизотопных. Пример можно видеть в методе конкордий, где используются безразмерные отношения содержаний дочернего и исходного изотопов в двух сопряженных парах изотопов.

Автомодельная математическая конструкция предоставляет исследователю помимо очевидных классификационных возможностей еще и особые интерпретационные. Обнаружение автомодельной константы для изучаемой природной совокупности объектов (магматические породы) позволяет полагать, что все они в пределах такой совокупности объединены общим генетическим механизмом. Установив при этом, какие физические (физико-химические, химические) параметры рассматриваемой совокупности непосредственно учтены в модели, мы имеем право несколько конкретизировать тезис о едином генетическом механизме.

Следует напомнить, что здесь модель учитывает параметры основности — кислотности петрогенных элементов магматических пород, которыми определяется фундаментальное для химии солеобразующих оксидов химическое взаимодействие — кислотно-основное. В отечественной петрографии наибольшее

внимание на эту проблему обращал, как известно, Д.С.Коржинский. Принцип кислотно-основного взаимодействия компонентов состоит в том, что вещества со свойствами оснований и кислот имеют повышенное химическое сродство между собой — способность ассоциироваться. Отсюда следует конкуренция между компонентами разной основности за вхождение в соединение или в диссоциированный комплекс с кислотными, и наоборот. Сильные кислоты ассоциируются с сильными основаниями, на долю слабых приходится остальное. Приложения принципа кислотно-основного взаимодействия компонентов были развиты Д.С.Коржинским для метасоматоза и постмагматических рудно-гидротермальных процессов. Для магматических систем кристаллы — расплав приложения этого принципа не были детализированы, и в современных геохимических и физико-химических работах по данным системам они не акцентируются. Между тем ясно, что при выплавлении силикатных магм более кислотные и щелочные компоненты обычно совместно устремляются в расплав, оставляя в кристаллическом остатке слабые основания (Mg , Fe^{2+} , часть Ca) с частью кремнезема. При снижении PT -параметров на стадии кристаллизации магм идет вытеснение слабых оснований в кристаллические фазы, затем пересыщение системы сильными основаниями и кислотами дает их химические соединения — кристаллические.

Достаточно ясно, что рассматриваемая автомоделная схема в координатах основности — кислотности магматических пород не что иное, как отражение кислотно-основного взаимодействия. Такой механизм и объединяет те магматиты природных комплексов, которые оказываются на прямолинейных трендах диаграммы.

Следует согласиться с тем, что статистическая глобальная картина составов магматических комплексов (серий), представленная в координатах основности — кислотности, позволяет судить об общей

эволюции составов магм, которая вносит прямой вклад в вызревание коры. Этот вклад существенно обязан кислотно-основному взаимодействию: магмы на путях подъема и кристаллизации обогащаются кремнеземом, глиноземом, трехвалентным железом и щелочами. Континентальная кора в результате обогащается значительными массами щелочно-базальтоидных, щелочно-салических, щелочно-кислых калиевых магм. Расширенный в сторону повышения кислотности и щелочности веер трендов состава сам по себе примечателен как наглядное выражение дисперсии (повышения разнообразия) составов магм, достигающих верхов коры. Картина означает общий рост композиционной энтропии системы, что достаточно очевидно связано с падением температуры и отвечает самопроизвольному течению эволюционного процесса.

Кроме высказанных достаточно важных и общих утверждений на основании рассматриваемой модели мы однако не вправе делать другие, более конкретные петрогенетические выводы. Не можем делать также выводы о кристаллизационном фракционировании, о местах и условиях выплавления магм, их смешении, контаминации и т.д. Для их раскрытия необходимо привлечь другие данные и методы.

Диаграмма Л.С.Бородина, помимо своего прямого классификационного назначения, будет полезна тем, что она привлекает внимание к принципу кислотно-основного взаимодействия в магнезизации. В статье автор отметил, что диаграмма может быть применена также при интерпретации метаморфических пород, что естественно, поскольку химическая эволюция силикатных масс при метаморфизме подчинена тому же принципу кислотно-основного взаимодействия. Возможно, для метаморфических пород автомоделную кислотно-основную схему следует модифицировать с добавлением входящих в состав данных пород несиликатных компонентов — летучих (вода, уголекислота, галогены).

УДК (649.32)

© А.А.Константиновский, 1999

Происхождение и рудоносность осадочных бассейнов*

А.А.КОНСТАНТИНОВСКИЙ (ЦИНГРИ)

Данная монография представляет собой фундаментальный научный труд, объемом около 500 с., богато иллюстрированный и снабженный комплектом карт, обобщающих схем и таблиц. Такого рода книги стали редкостью в наше время, так что уже одно ее появление можно считать весьма значительным успехом авторов и ВСЕГЕИ.

Работа посвящена проблеме литогеодинимики и минерализации осадочных бассейнов. Под термином литогеодинимика авторы понимают новое научное направление, изучающее литологические индикаторы геодинимических режимов прошлого.

Книга состоит из четырех частей. Первая посвящена литогеодинимическим основам осадочных бассейнов. В ней приведены классификация и характеристика типов геодинимических режимов данных

бассейнов. Эта часть имеет принципиально важное значение, поскольку в ней отражено понимание авторами основных положений современной геотектоники и места в ней крупных осадочных бассейнов. Вторая часть рассматривает гидрогеологию и флюидогеодинимику — проблемы, без которых невозможно дать ответ на многие важные вопросы рудообразования в осадочных бассейнах, в толщах которых погребены огромные массивы вод и рассолов. В третьей проведен анализ главных закономерностей строения угленосных и галогенсодержащих осадочных бассейнов.

Четвертая представляет особый интерес, т.к. в ней дана металлогения осадочных бассейнов. Рассмотрены собственно рудоносные бассейны, различающиеся тектонической позицией и структурно-формационными комплексами, относящиеся к четырем типам: 1) внутриплитные рифтогенные и эпейрогенные бассейны с терригенным и карбонатно-терригенным заполнением, вмещающие промышленные месторождения золота, меди, урана, серебра, ртути,

* Басков Е.А., Беленицкая Г.А., Романовский С.И. и др. Литогеодинимика и минерализация осадочных бассейнов / Под ред. А.Д.Шеглова. — С-Пб: ВСЕГЕИ, 1998. Финансовая поддержка РФФИ (проект № 97-05-78006)

кобальта, свинца, цинка и минералов платиновой группы; 2) бассейны пассивных континентальных окраин — терригенные, терригенно-карбонатные и кремнисто-терригенно-карбонатные с медно-цинково-цинковым, редкометалльно-золотым, барит-флюорит-полиметаллическим, железомарганцевым, сурьмяно-ртутным оруденением, а также фосфоритовые, горючесланцевые, уран-молибден-ванадиевые, золото-платиноидно-молибден-никеленосные бассейны; 3) бассейны субдукционных поясов; 4) коллизионных областей — форланда и межгорных впадин. Здесь же рассмотрены урановые месторождения осадочных бассейнов чехлов платформ, перспективы их выявления на территории России и оценена роль органического вещества и металлоорганических соединений в рудообразовании.

Завершает книгу раздел, посвященный перспективам осадочных бассейнов России на новые и нетрадиционные типы рудных месторождений.

Даже из этого краткого рассмотрения очевиден системный подход авторов к исследуемой проблеме. Подкупают стройность и логичность изложения богатейшего, хорошо продуманного материала и широкий геологический подход. Сильная сторона проведенного исследования — уже сама попытка увязать сложную историю формирования разнообразных осадочных бассейнов с процессами глубинного тектогенеза в их современном понимании. Авторы выделили индикационные ряды осадочных и осадочно-вулканогенных формаций, позволяющие с их точки зрения установить или хотя бы приближенно наметить тектоническую позицию многих типов осадочных бассейнов, особенно внутриплитных. Для авлакогенов, надрифтовых впадин, шельфово-склоновых бассейнов пассивных континентальных окраин, междугорных и задуговых бассейнов зон субдукции, а также большинства бассейнов коллизионных обстановок однозначные связи между геодинамикой и составом толщ, заполняющих бассейны, установить не удалось. Однако и для них выявлены определенные тенденции направленной изменчивости латеральных формационных рядов, что открывает новые возможности в интерпретации геодинамической позиции палеобассейнов.

Бесспорная заслуга авторов — рассмотрение сложных процессов гидрогеологии, обычно недостаточно освещаемых при характеристике режимов формирования осадочных бассейнов. Здесь даны эллизионные системы миграции подземных вод и связанные с ними разложение и преобразование ОВ, сульфидов, карбонатов и других соединений, что проливает свет на проблему рудообразования в осадочных бассейнах. Основным выводом авторов о том, что эта проблема становится проблемой гидрогеологической заслуживает всяческой поддержки. Сходные представления в настоящее время развиваются во многих научных коллективах, тогда как сторонники распространенной прежде точки зрения о господствующей роли гипогенного рудогенеза постепенно сдают свои позиции.

Часть положений, развиваемых в книге, носит дискуссионный характер. В своих построениях авторы базируются исключительно на идее мобилизма — тектоники литосферных плит. С одной стороны, такая выдержанная последовательность украшает работу, придавая ей стройность. С другой, это, как ни парадоксально, — и ее недостаток. Изложение было бы более объективным, если бы авторы попытались проанализировать процессы формирования

осадочных бассейнов, особенно расположенных внутри и вдоль окраин древних платформ, не только с позиций плейттектоники, но и с точки зрения глубинных преобразований земной коры на месте — «утяжеления» ее нижних горизонтов и связанных с этим последующих крупномасштабных погружений. Такие хорошо аргументированные представления, развиваемые в трудах Е.В.Артюшкова и М.А.Безра, к сожалению, остались вне рассмотрения.

Второе замечание касается подхода при выделении формаций-индикаторов палеотектонических обстановок формирования осадочных бассейнов. Их место в латеральном и вертикальном рядах и тектоническая природа определяются авторами не столько исходя из реального размещения и взаимоотношений между собой (парагенетический подход Шатского — Хераскова), сколько на основе умозрительных схем — тектонических моделей и потому является в значительной степени субъективным, чисто генетическим. Нам представляется, что оба подхода правомерны, но генетический должен предваряться парагенетическим.

При ознакомлении с монографией возникают и более мелкие замечания. В частности, об отнесении специфичных раннедокембрийских осадочных бассейнов типа Витватерсранда, Гурона, Удокана, Онежского и других к классу рифтогенных. Этому прежде всего противоречат их изометричные овальные очертания и особенности морфологии. Указанные структуры представляют собой широкие и глубокие впадины протоплатформенного чехла, далеко не всегда ограниченные разломами. Такие их особенности обусловлены, на наш взгляд, не раскалыванием и растяжением жесткого фундамента, а наоборот, его пластичностью, изменением плотности коры от места к месту и продолжающимся от дочехольной стадии остаточным всплыванием гранито-гнейсовых куполов с опусканиями между ними. Для таких палеобассейнов, возможно, в большей мере подходит забытый в настоящее время термин батисинеклиза, предложенный А.Л.Ставцевым.

Говоря о бассейнах пассивных континентальных окраин, неверно называть характерные для них «черносланцевые» формации терригенными. В любом случае правильнее говорить о терригенно-сланцевых, поскольку сланцы (первоначально глины) не являются обломочными породами.

Характеризуя закономерности размещения угленосных и гадогеносодержащих бассейнов, авторы делают неоправданный, на наш взгляд, акцент на геодинамические аспекты, в то время как важнейшему фактору палеоклиматической зональности уделено недостаточно внимания.

В целом, рецензируемая монография весьма актуальна и информативна. Она написана хорошим языком, с интересом читается и проливает свет на многие сложные механизмы формирования и минерагении разнообразных по типу и геологическому возрасту осадочных бассейнов. С главным выводом авторов об их высокой перспективности на новые, нетрадиционные типы месторождений различных, в первую очередь благородных металлов, и о том, что рудоносные бассейны являются в XXI в. важнейшим резервом минерально-сырьевой базы, следует согласиться. Книга несомненно заинтересует широкий круг геологов — тектонистов, литологов, специалистов по прогнозу и поискам полезных ископаемых, преподавателей и аспирантов вузов геологического профиля.

Новая геологическая карта Казахстана

А.И.БАРЫШЕВ, Д.И.ГОРЖЕВСКИЙ (ЦНИГРИ)

В 1998 г. вышла в свет новая геологическая карта Казахстана под редакцией Г.Р.Бекжанова, в которой учтены геолого-картографические исследования данной территории, проведенные до 1995 г. Карта характеризуется большой детальностью. Стратиграфия фанерозоя приведена, как правило, с точностью до яруса, а каменноугольная система — до подъяруса. Четвертичные отложения подразделены на генетические типы. Среди широких полей разновозрастных осадочных толщ показаны маркирующие горизонты кремнистых, карбонатных, терригенных пород, фосфоритов и каменных углей. Конфигурация этих горизонтов дает представление о характере складчатой структуры. Горизонты, когда их несколько, к сожалению, не проиндексированы, что не позволяет порою судить, один ли горизонт выходит в складчатой структуре или это разные горизонты. Весьма дробно расчленены тела интрузивных пород как по составу, так и по возрасту. Состав показан соответствующим цветом, оттенком и индексом, а возраст — индексом с точностью до отдела. Кроме того, возраст с точностью до периода показан разноцветным белым крапом на фоне цвета, что значительно облегчает прочтение карты при охвате взором больших площадей.

Вулканические образования подразделены на кислые, среднеосновные, основные, смешанного состава, кислого и основного (контрастные), субщелочные (кислого, среднего и основного составов), щелочные.

Карта весьма детально демонстрирует геологическую структуру Прикаспийской впадины, обусловленную диапировой тектоникой. В области распространения мезозойских и кайнозойских образований изогипсами изображены важные поверхности разделов на глубине.

Весьма актуально для последующего тектонического анализа — выделение на карте надвигов, сдвигов, зон смятия и расщепления, тектонических покровов, олистостром, олистолитов, зон серпентинитового меланжа, регионально-метаморфизованных пород с выделением фаций зеленосланцевой, амфиболитовой, показ мигматитов и гранитоидов.

В целом карта представляет собой фундаментальное обобщение большого фактического материала, удачно систематизированного почти без потерь (для этого масштаба) известного фактического материала.

Очевидно к положительной стороне карты следует отнести то, что она демонстрирует фактический материал без навязывания какой-либо геотектонической концепции, оставляя читателю возможность интерпретировать его с любой позиции, будь то гео-

синклинальная, тектоники плит, блоковая, эволюция и расслоенности земной коры и т.д.

Однако к этой карте можно сделать и несколько замечаний.

Практически отсутствует литологическая характеристика осадочных образований в выделенных контурах (за исключением маркирующих горизонтов и четвертичных отложений).

Не вполне удачно, с нашей точки зрения, разделение части интрузивных тел на малые порфировые интрузии и субвулканические образования. Кроме того, в последние, например на Рудном Алтае, могли попасть экстрезивы.

При удачном расчленении гранитоидов с выделением самостоятельной плагиоклазовой, иначе натровой или кали-натровой, группы подобного разделения не проведено для эффузивов.

В Казахстане, как и в других провинциях, интрузивные массивы не всегда имеют однозначную возрастную датировку. На рассмотренной карте отражена авторская определенная трактовка. Для направления последующих исследований было бы интереснее в ряде случаев дополнить возрастную индексацию вопроса или представить две трактовки: первую авторскую, вторую дискуссионную (например, Космунский гранодиорит-кварцево-диоритовый массив Юго-Западного Чингиза $\gamma\delta\text{-}q\delta\text{O}_3\text{:S}_{1-2}$).

Имеющиеся в легенде знаки регионального метаморфизма и зон смятия нанесены не на все соответствующие зоны или блоки (например, Жауыртагинская зона), что может привести к иным тектоническим интерпретациям последних.

Очевидно, что часть дискуссионных вопросов можно снять в объяснительной записке к карте. Сделанные замечания относятся к нашим пожеланиям.

Оценивая карту в целом, следует отметить, что она представляет новый шаг в обобщении геологии Казахстана. Карта интересна не только для исследователей Казахстана, но и для других геологов, занимающихся вопросами магматизма, тектоники, и связанными с ними дисциплинами, особенно при работах на смежных территориях, в первую очередь на Урале и в Алтае-Саянской области. Особый интерес карта может представить для создания на ее основе металлогенических и прогнозных карт на многие типы рудных и нерудных полезных ископаемых. Данная карта, без сомнения, будет способствовать решению ряда важных теоретических геологических проблем.

Некоторые комментарии к стратиграфической шкале палеогена и неогена в Стратиграфическом кодексе Украины

М.Ф.НОСОВСКИЙ (НИИ геологии ДГУ)

Опубликованный Стратиграфический кодекс Украины [16] знаменует важное событие в научном и практическом отношении по изучению земных недр Украины. Его значимость и своевременность определяются постановкой новых задач по проведению геологической съемки в различных регионах Украины для составления нового поколения Госгеолкарты-200. Естественно, это повышает требовательность к стратиграфической основе, по которой должны строиться геологические карты различного масштаба и назначения.

По содержанию Кодекс должен вобрать новейшие достижения в области фундаментальных и прикладных исследований по изучению стратиграфии фанерозоя и отвечать международным стандартам.

Составителями Кодекса проделана большая работа и учтен опыт составления аналогичных руководств в других странах.*

Структурный план Кодекса удачно сочетается с особенностями геологического строения Украины, что обеспечит стабильность и единообразие в применении стратиграфических терминов и наименований.

Кроме предисловия и вступления Кодекс представлен 10 главами, в которых изложены его концептуальная основа, основные термины, правила номенклатуры и даны краткие характеристики хроно-, лито-, био-, петро-, магнито-, климато-, сейсмо- и циклостратиграфических подразделений. Важная составная часть — приложения с изложением правил избрания и описания стратотипов, порядка составления, рассмотрения и утверждения стратиграфических схем и, как главная составляющая Кодекса, приведена Общая стратиграфическая шкала докембрия и фанерозоя Украины.

Опубликованный Кодекс в определенной мере — коллективное творчество, поскольку его проект в 1995 г. был разослан в производственные геологические организации, научно-исследовательские учреждения, вузы и ведущим стратиграфам Украины, от которых были получены замечания и рекомендации по его улучшению, большей частью учтенные, но основной объем работы по его составлению, безусловно, принадлежит созданной Национальным стратиграфическим комитетом Украины комиссии по разработке Кодекса под руководством Ю.В.Тесленко.

Однако для дальнейшего усовершенствования Кодекса мы считаем не лишним высказать несколько замечаний по стратиграфической шкале кайнозоя, тем более, что отложения этого возраста распространены на Украине повсеместно и должны отражаться

на геологических картах, имея достаточно убедительную стратиграфическую основу.

В стратиграфии палеогена и неогена за последние десятилетия произошли существенные изменения. Суть их состоит в пересмотре возраста датского яруса, теперь отнесенного к раннему палеоцену, упорядочении монского яруса и введении зеландского яруса наряду с танетом в составе позднего палеоцена. Произошла значительная трансформация «региоярусов» бахчисарайского разреза, продолжительное время рассматривавшегося в качестве стратотипа нижнего палеогена Крымско-Кавказской области, что тоже относится и к стратиграфии неогеновой системы, для которой в качестве стандартной принята средиземноморская шкала с сохранением аквитанского и бурдигальского ярусов в нижнем миоцене, затем лангия и сerratavia в среднем миоцене, пересмотром возраста тортонского яруса, отнесенного теперь к позднему миоцену, а в плиоцене выделен еще один самый верхний ярус гелазий.

Все эти изменения, утвержденные Международной комиссией по стратиграфии, в рассматриваемом Кодексе не отражены, а приведены только местные региоярусы (горизонты) палеогена и неогена, что является большим упущением, поскольку геологические карты Украины должны состыковываться с картами соседних государств, где новая Международная стратиграфическая шкала кайнозоя действует.

Вполне правомерно составители Кодекса в приложении № 6 показывают на территории Украины три основные стратиграфические шкалы палеогена и неогена с учетом ее геологической структуры: западные, северные и южные регионы.

Мы коснемся в основном стратиграфической шкалы южных регионов и выскажем по ней некоторые замечания, которые сводятся к следующему.

1. Решениями Международных геологических конгрессов в Вашингтоне (1989 г.) и Пекине (1996 г.) рекомендована уже упоминавшаяся Общая ярусная стратиграфическая шкала палеогена, принятая Международной стратиграфической подкомиссией палеогена, а затем утвержденная Международной комиссией по стратиграфии. Суть происшедших изменений в Общей стратиграфической шкале кайнозоя показана в известной публикации В.Берггена и др. [19].

Несомненна сложность процедуры перехода региональных стратиграфических схем на новую Международную шкалу, особенно в части определения границ и объемов стандартных ярусов палеогена в разрезах Крымско-Кавказской области. Однако, заменяя в рассматриваемом Кодексе датский ярус на белокаменский региоярус (горизонт), теряется облик дания, хорошо прослеживающегося в разрезах Крыма. Более того, в соответствии с ранее опубликованной Стратиграфической схемой [15] в состав белокаменского входил и прежний инкерманский

* В «Стратиграфическом кодексе Украины» широко использован опыт составления Стратиграфических кодексов СССР и России (1977; 1992), в подготовке которых украинские геологи приняли участие. Главы 6—9 и ряд приложений помещены почти без изменений.

региоярус, который должен теперь отвечать, вместо упраздненного монского яруса, нижней части нового яруса — зеландия, но уже позднепалеоценового возраста. Отсюда видна крайняя необходимость внесения изменений в Кодекс Международной шкалы палеогена, кроме опубликованной в нем региональной.

2. Несколько иные противоречия имеются в олигоценовой части региональной шкалы опубликованного Кодекса.

Некоторым диссонансом здесь представляется показанное в его олигоценовой части название планорбелловый региоярус (горизонт) в самой нижней части олигоцена Северного Причерноморья и Крыма.

Впрочем, мы уже имели возможность заметить несолидность этого названия по ряду причин [8]. Во-первых, *планорбелловый* противоречит существующей практике стратиграфических наименований, которые рекомендуются образовывать от географических и этнических названий, а не палеонтологических объектов, тем более, что примененное для обозначения рода птеропод название *Planorbella* оказалось преокупированным и по правилам приоритета, принятым в палеонтологии, он заменен на род *Spiratella* [6].

Во-вторых, это название ранее использовалось лишь для Керченского полуострова, где соответствующие отложения были разделены на дюрменские и планорбелловые слои. В Равнинном Крыму для отложений того же интервала эта часть олигоцена представлена аммобакулитовым горизонтом и индольской свитой, а в Юго-Западном Крыму (Альминская впадина) — кызылджарским горизонтом и зубакинскими слоями. В Северном Причерноморье планорбеллы вообще не встречаются*, и вся эта толща выделяется в качестве борисфенской свиты, узаконенной в работе [12] и показанной на изданных Мингео СССР листах Причерноморской серии Геологической карты масштаба 1:200 000 [9].

Несмотря на то, что авторам не так легко отречься от неудачного названия *планорбелловый*, принятого в работе [15] и Кодексе, все-таки в региональной стратиграфической шкале палеогена южных регионов вместо планорбеллового горизонта следует показывать борисфенскую свиту в ранге региояруса и лишь в отдельных структурно-фациальных зонах Равнинного Крыма при геолого-съемочных и поисковых работах использовать названия местных подразделений.

3. Переходя к миоценовой части разреза, нельзя не затронуть вопрос об эгерском региоярусе, целиком показанном как самая нижняя часть миоцена западных регионов.

Как известно, эгерский ярус впервые выделен в региональной шкале Центрального Паратетиса и охватывает верхи олигоцена и низы миоцена [18]. Поэтому он разделен на ранний эгерий позднеолигоценного возраста и нижний эгерий раннемиоценового возраста и обозначен буквами ОМ.

Позднеолигоценный возраст раннего эгерия подтверждается наличием фораминиферной зоны P_2 с *Globorotalia optima optima*, нанопланктонных зон NP24 и NP25 и, что особенно важно, из-за присутствия миогипсин, принадлежащих видам, характерным для стратотипа хаттского яруса *Miogypsina complanata*

Schlumberger., *M.septentrionalis* Drooger и *M.formosensis* Jabe et Hanzawa.

Раннемиоценовый возраст позднего эгерия устанавливается по наличию биозоны N4 с *Globigerina quadrilobatus primordius*, нанопланктонной зоны NN1 и аквитанских миогипсин *Miogypsina gunteri* Cole и *M.tani* Drooger. Поэтому не принимать во внимание указанные фаунистические признаки олигоцен-миоценового возраста эгерского яруса и целиком показывать его в миоцене западных регионов (т.е. Центрального Паратетиса), значит противоречить его палеонтологической характеристике.

4. Среди олигоценых региоярусов в Кодексе показан также горностаевский региоярус (горизонт), с чем нельзя согласиться.

Вряд ли необходимо рассматривать здесь двоякое мнение о возрасте отложений асканийской свиты, подстилающей в Причерноморской впадине горностаевские отложения. Заметим лишь, что одни исследователи на основании состава малакофауны относят асканийские отложения к позднему олигоцену [12], а другие по видовой принадлежности остракод — к раннему миоцену [17].

Залегающие над асканийским региоярусом горностаевские отложения впервые выделены и отнесены в непрерывном майкопском разрезе Причерноморской впадины к нижнему миоцену [7]. В этой трактовке они рассматриваются в работе [14], а также в более поздней публикации С.В.Попова и других [10] как аналог аквитана в Восточном Паратетисе. Данные отложения отнесены к нижнему миоцену и в Корреляционной стратиграфической схеме неогена Южной Украины, утвержденной Национальным стратиграфическим комитетом Украины в 1995 г.

Такой вывод основан на неоспоримом палеонтологическом единстве горностаевских отложений Северного Причерноморья, содержащих комплекс фораминифер, позволяющий рассматривать их как слои, относящиеся к зоне *Porosonion dendriticus* и *Cibicides ornatus*, которая прослеживается везде в Крымско-Кавказской области от низовья Днепра на западе до Приаральской области и Закаспия на востоке, где они выделяются в составе раннего миоцена как местные свиты: караджалгинская, верхнебайгубекская, верхнесарбатарская, кашкаратинская, аральский горизонт и др. [2, 5].

В Северном Причерноморье они содержат фораминиферы *Porosonion dendriticus* Bogd., *P.martkobi* Bogd., *P.granosus* (Orb.), *Cibicides ornatus* Bogd., *C.stavropolensis* Bogd., *Elphidium onerosum* (Bogd.), *Uvigerinella californica* Cushman, а среди моллюсков встречаются *Corbula gibba* Ol., *Cerastoderma prigorovskii* (Bogd.), *Chione multilamella* L., *Chlamys incomparabilis* Risso, *Palliolium simile* (Lascarey), *Plagiocardium abundans* (Liv.) и др.

В Крыму данные отложения известны как поздний керлеут и тоже содержат в Индольском прогибе характерные миоценовые индекс-виды *Bolivina goudkoffi*, *Haplophragmoides kjurendagensis kerleuticus*, *Porosonion dendriticus*, *Cibicides stavropolensis* и др. [3, 8].

Однако этого мало. Нельзя не обратить внимание на то, что в Кодексе показана одновозрастность горностаевских отложений с верхней частью якобы олигоценового берекского региояруса (горизонта), т.е. с сивашскими слоями ДДВ, возраст которых пересмотрен С.В.Поповым и И.А.Гончаровой [4] на основании детального палеонтологического изучения моллюсков из уникальной коллекции И.Н.Ре-

* Планорбеллы не упоминаются и в работе Ю.И.Селина [11], где приведено описание моллюсковой фауны этого региона.

мизова и других исследователей, что позволило им прийти к выводу о раннемиоценовом возрасте сивашской фауны, а следовательно, и берекской свиты, по крайней мере, ее верхней части.

В связи с изложенным, стоит ли что-нибудь еще говорить в опровержение ошибочного мнения об олигоцене в возрасте горностаевского горизонта, где он в Северном Причерноморье, Крыму и в других частях Восточного Паратетиса может быть выделен в составе раннемиоценового кавказского региона.

5. Достойно сожаления, что в Кодексе отложения майкопской серии между горностаевскими отложениями внизу и тарханским региоарусом вверх обозначены как нерасчлененная толща, в которой региоарусы не выделены.

Между тем, хорошо известно, что отложения этого интервала четко палеонтологически различаются и давно выделяются в составе двух региоарусов [1, 3, 14]: внизу сакараульский региоарус (арабатская в Крыму и чернобаевская свиты Северного Причерноморья), а выше коцахурский региоарус (королевская в Крыму и маячковская свиты Северного Причерноморья), расположенные ниже отложений типичного тарханского региоаруса. Отложения указанного возраста с разделением на сакараульский и коцахурский региоарусы коррелируются на всем пространстве Восточного Паратетиса [14] и картируются геологами-съемщиками на территории Южной Украины.

Отмеченные замечания по стратиграфическому Кодексу Украины заставляют вспомнить великого Байрона, который говорил, что никогда не возьмется описывать страну, которой не видел бы собственными глазами. Здесь похоже, что советниками комиссии по разработке Кодекса были стратиграфы, которые никогда не видели южноукраинских майкопских разрезов. Поэтому при подготовке второго издания Стратиграфического Кодекса Украины следовало бы учесть указанные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барг И.М., Носовский М.Ф. Арабатская свита Керченского полуострова // ДАН Украины. 1993. № 2. С. 129—131.
2. Бельская И.Г. Некоторые двухстворчатые сарбатырской свиты

- Ауминзатау (Кызылкум) // Стратиграфия и палеогеография кайнозой нефтегазоносных областей Советского Союза. Вып. 31/39—32/40. М., 1971. С. 191—195.
3. Голубничая Л.М. Оligocen и нижний миоцен // Геология СССР. Крым. 4. Геологическое строение. М., 1969. Т. 8. С. 224—232.
4. Гончарова И.А., Попов С.В. Моллюски сивашских слоев Днепровско-Донецкой впадины // Палеонтологический журнал. 1995. № 4. С. 54—65.
5. Иванова В.А. Оligocenовые и нижнемиоценовые отложения юго-восточного Устюрта, Южного Приаралья и северо-восточных Заунгузских Каракумов // Стратиграфия и палеогеография кайнозой нефтегазоносных областей юга Советского Союза. Вып. 31/39—32/40. М., 1971. С. 159—182.
6. Коробков И.А. Крылоногие (*Mollusca*, *Pteropoda*) палеогеновых отложений юга СССР // Вопросы палеонтологии. 1966. Т. 5. С. 71—137.
7. Носовский М.Ф., Пасичный Г.В. Про пограничні верстви олигоцен-міоцену и Причорноморський западині // Геологічний журнал. 1965. Т. 25. Вып. 2. С. 36—44.
8. Носовский М.Ф. Майкопские отложения зоны сочленения Равнинного Крыма и Керченского полуострова // Геологический журнал. 1993. № 6. С. 88—96.
9. Пасичный Г.В. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Причерноморская лиоты Асканийский и Каховский // Объяснительная записка. — М.: Мингео СССР, 1974, 1975.
10. Попов С.В., Ахметьев М.А., Запорожец Н.И. и др. История Восточного Паратетиса в позднем эоцене — раннем миоцене // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т. 1. № 5. С. 10—39.
11. Селин Ю.И. Стратиграфия и моллюски Больше-Токмакского марганцеворудного района. — М.: Недра, 1964.
12. Стратиграфия СССР. Палеогеновая система. — М.: Недра, 1975.
13. Стратиграфія УРСР. — Київ: Наукова думка, 1975. Т. X. Неоген.
14. Стратиграфия СССР. Неогеновая система. — М.: Недра, 1986. Полутема 1, 2.
15. Стратиграфическая схема палеогеновых отложений Украины (унифицированная). — Киев: Наукова думка, 1987.
16. Стратиграфічний Кодекс України // (на украинском языке) НСК Украины. Киев, 1997.
17. Шеремета В.Г. Характерные ассоциации остракод стратотипических и других разрезов палеогена Украины // Стратиграфия и палеогеография кайнозой нефтегазоносных областей Советского Союза. Вып. 31/39—32/40. М., 1971. С. 87—95.
18. Chronostratigraphie und Neostatotypen. Miozan OM. Egerien // Veda. Bratislava, 1975.
19. Bergen W.A., Kent D.V., Swisher C.C. and Aubry M. A revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy // Special Publication № 54. 1995. USA.

Евгений Александрович Козловский — доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, лауреат Ленинской и Государственной премий.

Пройдя суровую школу жизни в партизанском движении в Белоруссии, Е.А.Козловский в 1948 г. окончил Минское артиллерийское училище, в 1953 г. — Московский геологоразведочный институт и начал трудовую деятельность в геологических организациях Дальнего Востока. При его непосредственном участии в Комсомольском районе Хабаровского края был открыт и подготовлен к промышленному освоению оловорудный район. За время работы на производстве сформировался как профессионал-геологоразведчик, как руководитель, способный в сложных условиях принимать нужные решения в интересах производства.

В 1965 г. Е.А.Козловский был назначен начальником Технического управления Министерства геологии РСФСР. С его приходом изменились подходы к научно-технической политике, были разработаны и реализованы программы научно-технического прогресса геологоразведочных работ на основе тесной связи науки с производством.

В 1973—1974 гг., работая директором Всесоюзного института экономики минерального сырья и геологоразведочных работ, Е.А.Козловский реализовал ряд мероприятий по повышению роли ВИЭМС в отрасли и укреплению функций этого головного института.

В 1974 г. Е.А.Козловский назначается заместителем Министра геологии СССР, а в декабре 1975 г. — Министром геологии СССР. На этом посту проявились его гражданская позиция, государственный подход к решению проблем геологии и развитию минерально-сырьевой базы страны. Особое внимание уделялось индустриализации геологии, геологической науке, научно-техническому прогрессу и социальным вопросам.

Активность Е.А.Козловского в правительственных кругах обеспечила постоянную поддержку отрасли, рост престижа геологии и геологов. На этот период приходится крупнейшие открытия месторождений нефти и газа в Западной и Восточной Сибири, алмазов в Архангельской области, цветных, редких, благородных металлов и других полезных ископаемых в ряде регионов страны. Созданная в те годы минерально-сырьевая база сегодня служит для России одним из главных источников валютных поступлений.

Е.А.Козловский осуществлял руководство Межведомственным научным советом по проблемам изучения недр Земли и сверхглубокого бурения. Проходка уникальной Кольской сверхглубокой скважины оказалась возможной благодаря применению принципиально новой технологии, научных методов управления и организации работ, чему способствовал и личный вклад юбиляра.

Е.А.Козловским разработаны новые подходы к системе управления, отраженные в работах: «Кибернетические системы в разведочном бурении» (1985 г.), «Управление геологоразведочным производством», «Кибернетический аспект» (1990 г.), «Геолого-экономическая модель: новые принципы разведки и организации работ» (1989 г.) и др.

Е.А.Козловский, будучи Президентом XXVII сессии Международного геологического конгресса (МГК), провел большую работу по подготовке и проведению этого крупнейшего форума геологов мира, и получившего высокую оценку советских и зарубежных участ-



ников. Он участвовал в подготовке XXVIII сессии МГК, прошедшей в 1989 г. в Вашингтоне.

Е.А.Козловский руководил подготовкой и изданием многотомных работ «Геология СССР», «Горная энциклопедия» (удостоена Государственной премии РФ 1998 г.), «Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых», «Справочника инженера по разведочному бурению», монографии «Геология зоны БАМ», монографии «Кольская сверхглубокая».

Под научным руководством Е.А.Козловского защищено 30 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

Е.А.Козловский — автор свыше 400 научных работ. Он является первооткрывателем ряда месторождений, автором открытий и 40 изобретений. За большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы он награжден орденами Ленина, Трудового Красного знамени, «Знак Почета», многими советскими и зарубежными медалями, ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники России» (1996 г.).

В настоящее время Евгений Александрович руководит кафедрой Оптимизации геологоразведочных процессов Московской Государственной геологоразведочной академии, Международной акционерной геологической компанией, геологоразведочным отделением Российской академии естественных наук.

Е.А.Козловский по-прежнему устремлен на защиту минерально-сырьевых ресурсов и уважения к труду разведчиков недр.

*Министерство природных ресурсов Российской Федерации
Международная Академия минеральных ресурсов
Российское геологическое общество
Редколлегия журнала*

Уральской геолого-съемочной экспедиции — 50 лет

К.К.ЗОЛОВ, В.П.ОЛЕРСКИЙ, М.С.РАПОПОРТ (ОАО УГСЭ)

В преддверии 300-летия государственной геологической службы страны геологическая общественность Урала отмечает знаменательные даты в региональном изучении недр этого опорного края державы. В 1997 г. исполнилось 100 лет геологическому картографированию на Урале, а осенью 1998 г. — 50 лет Уральской геолого-съемочной экспедиции (УГСЭ) — одной из старейших в регионе и 90 лет одному из ее основателей, выдающемуся уральскому геологу, автору и редактору мелкомасштабных геологических и тектонических карт Урала Ивану Денисовичу Соболеву.

Уральская геолого-съемочная экспедиция — исторически первое и наиболее крупное специализированное на региональное изучение недр единое структурное подразделение на Урале. Сфера деятельности экспедиции в разные годы распространялась от Полярного Урала на севере до Казахских Мугоджар на юге.

Рождение и становление УГСЭ произошло 50 лет назад в мучительных структурно-организационных преобразованиях из многочисленных разрозненных геолого-съемочных и топографических партий, работавших по всему Уралу. За прошедшие годы экспедиция неоднократно переименовывалась, обрела дополнительные подразделениями, в т.ч. и не свойственными типичной геолого-съемочной организации.

Образовалась УГСЭ преимущественно в результате слияния Уральской комплексной съемочной и Уральской комплексной тематической экспедиций. После некоторых организационно-структурных преобразований 1960—1980 гг. она обрела структуру, близкую к современной, а в 1990 г. в результате приватизации и акционирования стала открытым акционерным обществом «Уральская геолого-съемочная экспедиция» (генеральный директор В.П.Олерский, первый заместитель генерального директора и главный геолог К.К.Золотов, член-корреспондент РАН).

Главными направлениями деятельности экспедиции в разные годы были:

- разномасштабные (преимущественно масштабов 1:50 000 и 1:200 000) геолого-съемочные работы;

- подготовка к изданию и издание нескольких поколений листов государственной геологической карты СССР и России масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000;

- поисковые работы (ГДП-50 с общими поисками, общие и детальные поиски, поисково-оценочные и разведочные работы) на руды железа, меди, полиметаллов, рудного и россыпного золота, хромитов, бокситов, алмазов, хризотил- и антофиллит-асбеста, другие рудные и нерудные полезные ископаемые;

- топографо-геодезические и геофизические работы, геохимические поиски;

- дистанционные методы исследований (дешифрирование МАКС);

- научно-исследовательские (тематические) работы, включая прогнозно-поисковые и металлогенические исследования;

- составление обзорных и мелкомасштабных карт, в т.ч. геологических, тектонических, структурно-формационных, геофизических, металлогенических и других карт всего Урала или значительных его территорий;

- издательская деятельность: издание книг, брошюр, карт, объяснительных записок к ним, стратиграфических таблиц и других схем на основе собственной полиграфической базы;

- внедрение компьютерных технологий в региональные геолого-съемочные и геолого-геофизические работы;

- инженерно-геологические и экологические исследования.

Многие из перечисленных видов работ и в настоящее время преобладают в деятельности экспедиции. Ее геоло-

го-съемочными партиями охвачены геологическим картированием масштаба 1:200 000 значительные площади Северного, Среднего, юго-восточной части Южного Урала и Зауралья, а крупномасштабными геолого-съемочными работами — большая часть Свердловской области и прилегающих к ней территорий (в пределах так называемого открытого Урала с мощностью рыхлых мезозойско-кайнозойских отложений менее 10 м).

В последние годы геолого-съемочные партии УГСЭ выполняют геологическое доизучение ранее заснятых площадей масштаба 1:200 000 с подготовкой к изданию комплектов листов Гостгеолкарты-200 (новой серии), а в недавнем прошлом (1970—1980 гг.) основным видом геолого-съемочных работ было ГДП масштаба 1:50 000 с общими поисками, которое приостановлено в соответствии с концепцией регионального изучения недр, утвержденной коллегией бывшего Госкомнедра. Как показала практика, ГДП-50 с общими поисками — наиболее эффективный вид региональных геолого-съемочных работ в таких горнопромышленных регионах, как Урал. Отказ от их дальнейшего проведения уже в ближайшие годы может отрицательно сказаться на возможностях своевременного восполнения и развития минерально-сырьевой базы, его горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, привести к утрате традиционной школы крупномасштабного геологического картирования.

Поисковая направленность геологического картирования подкреплялась разветвленной сетью самостоятельно финансируемых подразделений УГСЭ — специализированных партий и отрядов, выполняющих геохимические и геофизические исследования, специализированные поисковые работы на руды редких металлов, бокситы, железо, хромиты, россыпное и рудное золото, драгоценные камни и камнесамоцветное сырье. Наибольшая результативность в 1970—1980 гг. была достигнута при поисковых работах на редкие металлы, золото (россыпное и коренное), драгоценные и цветные камни. Достойное место в этом перечне занимают россыпные алмазы, рекомендации по которым были переданы Пермскому геологоразведочному тресту и Пермской геологоразведочной экспедиции.

В качестве примера можно привести крупное Потанинское месторождение тантало-ниобатов в Вишневых горах на Южном Урале, открытое, опосредованное и предварительно разведанное силами одной из партий УГСЭ. Установлено (В.Я.Левин и др.), что месторождение генетически связано с карбонатами. В связи со сложными конъюнктурными соображениями, недоработанностью технологии переработки и использования карбонатитовых руд оно пока находится в разрезе. В связи с рихтерит-флогопитовыми метасоматитами карбонатитовых комплексов Вишневых гор тогда же Центральной партией УГСЭ (С.И.Мормиль, В.Я.Левин) открыты и предварительно опоскованы уникальные по содержаниям, количественным параметрам и минералогии редкометалльные (ниобат-танталовые) и редкоземельные рудопоявления. В Малышевском районе открыты и разведаны месторождения молибдена, вольфрама и редкометалльных пегматитов, многие объекты по которым переданы промышленности и уже отработаны, а Южно-Шамейское месторождение молибдена, впервые разведанное на Среднем Урале и доведенное экспедицией до объекта средней величины, передано для промышленного освоения в разрез Малышевского рудопоявления.

Особенно результативны поисковые работы на россыпное золото. В процессе их проведения открытые экспедицией рудопоявления оперативно оценивались силами УГСЭ и передавались в другие геологоразведочные организации для предварительной и детальной разведок. Мно-

гие из них подготовлены для промышленного освоения, а более 20 уже разрабатываются или даже отработаны.

Большая и важная работа проведена УГСЭ в 80-е годы по оценке открытых ею месторождений золота, в т.ч. новых для Урала геолого-промышленных типов. На открыто по результатам геологического картирования масштаба 1:50 000 Гагарском месторождении золота (В.П.Олерский и др.) в 1983—1984 гг. УГСЭ провела поисково-оценочные работы. После 1991 г. оно было передано артели «Гагарка» для предварительной разведки и производства опытно-промышленной отработки окисленных золотых руд месторождений способом подземного выщелачивания, впервые в мировой практике и в России примененного по хлорной технологии. Выполненной позже АО «Уралгостром» и УГСЭ предварительной разведкой с утверждением в ГКЗ запасов золота первоначальная прогнозная оценка золотых руд, установленная еще при ГДП-50 с общими поисками в районе Гагарки, была подтверждена. При вовлечении в поиски и разведку новых аналогичных объектов, например, Ново-Гагарского и других рудопроявлений, имеются возможности прирастить запасы золотых руд до размеров крупного месторождения этого геолого-промышленного типа.

Поисковой направленности работ всегда уделялось большое внимание на всех этапах истории экспедиции. Так, еще в конце 60-х годов были развернуты беспрецедентные по масштабам палеогеоморфологические исследования под руководством А.П.Сигова, которые привели к открытию на Урале многочисленных погребенных мезозойских россыпей с богатыми запасами благородных металлов, что позволило увеличить в несколько раз рудный потенциал региона на золото, успешно справляться с ежегодными планами прироста запасов благородных металлов. В ходе этих исследований были научно обоснованы пространственно-временные связи россыпной золотосодержимости с древними эрозионно-структурными депрессиями, установлены особенности палеогеологии и палеогеоморфологии россыпеобразования, а также роль кор выветривания, их типа и профиля в образовании и размещении гипергенных полезных ископаемых. Тогда же А.П.Сиговым была основана уральская школа геоморфологов, в которой выросла когорта его талантливых учеников и верных последователей: В.С.Шуб, впоследствии возглавивший в УГСЭ научные и производственные исследования этого направления, А.Г.Баранников, Л.А.Гузовский, Л.Е.Стороженко, В.М.Якушев, В.А.Сигов, первооткрыватель золотороссыпных месторождений И.З.Шуб и др.

Высокому качеству и эффективности геолого-съемочных и поисковых работ на Урале способствовали разноплановые научно-исследовательские (тематические) работы, выполняемые сотрудниками экспедиции. Это картографические, палеогеографические, петрологические, геофизические, геохимические, прогнозно-металлогенические на широкий спектр полезных ископаемых и многие другие исследования, результаты которых и их исполнители известны далеко за пределами Урала. Из исполнителей геолого-съемочных, поисковых и тематических работ выросли крупные ученые и руководители производства.

Экспедиция по-прежнему гордится своими кадрами, среди которых более 90 докторов и кандидатов наук, многие выдающиеся геологи Урала. Это уже упоминавшиеся заслуженные геологи Российской Федерации И.Д.Соболев и А.П.Сигов. Среди известных в стране геологов старшего поколения можно назвать М.И.Гараня, Г.А.Смирнова, Н.Ф.Мамаева, Г.А.Кейльмана, В.А.Лидера, К.П.Плюснина, П.С.Прямоносова, П.В.Нечасова, А.В.Пуркина, К.К.Золоева и др. Некоторые сотрудники экспедиции впоследствии перешли на работу в академические институты и вузы, но по-прежнему не порывают своих связей с УГСЭ.

В настоящее время в экспедиции работают 3 доктора и 16 кандидатов наук, в т.ч. 2 профессора (один из них — член-корреспондент РАН), 4 сотрудника — члены Международной академии минеральных ресурсов, один член Нью-Йоркской академии наук; 27 сотрудников экспедиции являются первооткрывателями месторождений, из них 5 работают в настоящее время; 9 бывших работников УГСЭ — Лауреаты Государственных премий, семь человек имеют почетное звание «Заслуженный геолог Российской

Федерации» (пятеро из них работают в настоящее время), один — Заслуженный работник геодезии и картографии, один — Заслуженный изобретатель РФ и еще один — Заслуженный рационализатор РФ. 7 специалистов имеют звание «Почетный разведчик недр», 28 награждены орденами и 468 — правительственными медалями.

Составленные в УГСЭ геологические, тектонические, металлогенические, геофизические карты Урала служат основой, которой пользуются производственные организации, институты, вузы всей страны и зарубежные исследователи, принимающие участие в геологическом изучении Уральского региона по программам международного сотрудничества.

Полиграфическое оформление и издание карт осуществляется внутри УГСЭ, в Геолого-картографической партии. Этому направлению деятельности экспедиции ее руководство всегда уделяло большое внимание. Накоплен опыт совершенствования технологии и улучшения качества изготовления геологических карт, особенно методологии их полиграфического оформления с использованием наименьшего числа красок, что позволило получить значительный экономический эффект. Большая заслуга в этом принадлежит кандидату технических наук Э.М.Ляховичу, чьи открытия и изобретения в области изготовления цветных карт геологического содержания пользуются заслуженной известностью в нашей стране и ближнем зарубежье.

На всех этапах 50-летней истории экспедиции в ее деятельности большое значение имело распространение научно-технических достижений и передового опыта. Это касается широкого внедрения в практику геолого-съемочных и поисковых работ дистанционных космоаэрогеологических методов, новых геофизических и геохимических методов исследований и др. Большая заслуга в этом принадлежит нашим руководителям среднего звена — начальникам партий, особенно энтузиастам своего дела: А.Г.Жученко — создателю уральской школы космоаэрогеологических исследований, Г.А.Вострокнутову — начальнику Центральной геохимической партии, К.П.Плюснину — известному уральскому тектонисту, автору новой кинематической методики определения возраста дислокаций горных пород. Интересные открытия, изобретения и разработки принадлежат коллективу Опытной-конструкторской партии новой техники.

В последние годы в связи с широким внедрением в практику среднемасштабных геолого-съемочных работ (особенно ГДП-200) и подготовки к изданию комплектов листов Госгеолкарты-200 новых компьютерных технологий создана и большую организаторскую работу проводит специализированная партия, возглавляемая Г.Ф.Коваленко. Первая на Урале и одна из первых в стране УГСЭ внедрила программу ГИС-ПАРК в геолого-съемочный процесс. Сейчас перед нами стоит исключительно важная задача оснастить новейшими компьютерными технологиями в достаточном количестве все геолого-съемочные, а в перспективе поисковые и тематические партии. Сегодня уже невозможно выполнение крупных исследований без компьютеризации их технологического процесса.

Внедрение новых методов геологического картирования в практику работ последних десятилетий сопровождалось вводом соответствующих программ в учебные курсы специальности «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» в Свердловском горном институте, сейчас Уральской Государственной горно-геологической академии (УГГГА), организацией филиала кафедры геологического картирования УГГГА при УГСЭ и активным участием последней в учебном процессе. Начиная с 1970 г. сотрудники экспедиции (профессора К.К.Золоев, К.П.Плюснин, М.С.Рапопорт, ведущие геологи УГСЭ Ю.А.Левицкий, А.Е.Степанов и др.) читают лекции и проводят практические занятия на геологическом факультете УГГГА. Многие специалисты УГСЭ перешли полностью на педагогическую деятельность в СГИ (профессора Г.А.Кейльман, О.В.Богоявленская, А.Г.Баранников и др.). В результате геолого-съемочные подразделения экспедиции систематически пополнялись талантливой молодежью, многие из которой теперь стали ведущими геологами-съемщиками, имеющими ученые степени кандидатов наук. В то же время многих специалистов, особенно молодых и перспективных, экс-

педия лишилась после резкого спада экономики в стране, когда геологическая отрасль, в т.ч. работающая в сфере региональных геолого-геофизических исследований, практически либо полностью развалилась, либо как в УГСЭ — оптимально сохранена, правда, ценою больших усилий и вложением в производство других, не свойственных геологоразведочным исследованиям работ коммерческого характера.

Высокой результативности геолого-съемочных и поисковых работ экспедиции способствовали целенаправленно сопровождавшие их обобщение тематические работы. Они на каждом этапе работ УГСЭ отражали результаты последовательного накопления нового фактического материала и последние достижения геологической науки как фундаментального, так и прикладного характера. Эти работы выполнялись экспедицией совместно со многими производственными организациями и геологическими институтами Урала и центра страны. Результатом таких работ явились периодические издания материалов по вопросам геологии и стратиграфии осадочных отложений петрологии и петрохимии магматических и метаморфических комплексов, формационному анализу интрузивных, вулканогенных и осадочных образований, металлогении.

Периодически обновлялись и публиковались результаты общегуральских стратиграфических совещаний с официально апробированными и утвержденными Межведомственным стратиграфическим комитетом корреляционными стратиграфическими схемами региональной и местной стратиграфической шкал всего Урала. Многие из этих материалов обобщались непосредственно в УГСЭ и издавались силами его картпредприятия, так же, как и обобщающие монографии и работы, подготовленные работниками экспедиции и изданные в центральной печати, за рубежом и силами полиграфической базы самой экспедиции.

Регулярно издаются сборники трудов по геологии и полезным ископаемым Урала. Крупным событием явилось издание в 1969—1973 гг. уральских томов многотомной монографии «Геология СССР», а в 1981 г. монографии «Геологическое развитие и металлогения Урала» (авторы К.К.Золотов, М.С.Рапопорт, Б.А.Попов и др.), в которой содержится новейшие на то время сводные данные по тектоническому и металлогеническому районированию Урала, особенностям его глубинного строения, о вещественном составе и формационной принадлежности интрузивных, вулканогенных, осадочных и рудных формаций, особенностях и закономерностях их формирования и распространения в геологической истории Урала. Эта монография была весьма положительно встречена геологической общественностью не только Урала, но и далеко за его пределами. Академик В.И.Смирнов высоко отозвался о достоинствах этого труда, отметив, что в большом количестве идеологически разноречивых публикаций того времени указанная монография содержала огромный фактический материал, удачно обобщенный и научно обосновывающий сложные геологические явления. Член-корреспондент РАН, в настоящее время академик Д.В.Рундквист с коллегами в опубликованной рецензии также высоко оценили научное и прикладное значение книги для дальнейших исследований, геологического картирования и поисков новых месторождений. Книга на два десятилетия вперед стала руководящим пособием для составления и издания сводных легенд Госгеолкарты-200, а также геологического картирования, прогнозирования и поисков рудных и нерудных месторождений. Спустя почти 10 лет в свет вышла вторая обобщающая монография тех же авторов по глубинному строению и металлогении подвижных поясов, в которой основные данные приведены по Уралу. В 1997 г. УГСЭ опубликовала сборник научных трудов по геологии и минеральности региона, в котором с использованием достижений геологической науки последних лет и на основе фактических материалов, полученных за это время, изложены данные о состоянии и путях развития минерально-сырьевой базы Урала, его геологическом строении, включая строение глубинных структур по результатам геофизических исследований, представления о геологическом и металлогеническом развитии подвижных поясов и их эволюции в пространстве и во времени.

О чем писал наш журнал

Традиционно УГСЭ всегда отличалась высоким научным уровнем проведения исследований и достаточно обеспеченным числом высокопрофессиональных работников. Так, например, экспедиция неоднократно принимала активное участие в организации и проведении международных, всесоюзных, всероссийских и региональных совещаний и конференций. Сотрудники экспедиции (К.К.Золотов, И.Д.Соболев, М.С.Рапопорт и др.) входили в состав оргкомитетов и редколлегий по подготовке материалов и трудов этих форумов, являлись авторами путеводителей полевых экскурсий. Достаточно хотя бы назвать VIII Всесоюзное металлогеническое совещание «Доорогенная металлогения эвгеосинклиналей», 2 Всесоюзных совещания по корам выветривания, 6 уральских петрографических и 4 стратиграфических совещания, I металлогеническое совещание России (1995 г.), Всероссийское совещание по проблемам рифа (1996 г.) и др., проходившие в Свердловске (Екатеринбурге). По инициативе М.С.Рапопорта и К.К.Золотова еще в 60-е годы были проведены первые конференции молодых геологов и геофизиков Урала.

Сотрудники УГСЭ принимали участие во всесоюзных, международных совещаниях, являлись руководителями секций, выступали с докладами, например на петрографических, тектонических, металлогенических, геофизических, геохимических и других совещаниях, XXVIII и XXX международных геологических конгрессах, в совещаниях по международной программе «Европроба» и др.

Ученые экспедиции являлись авторами всесоюзных международных геологических карт (геологической карты Северной Евразии — И.Д.Соболев, тектонической карты СССР — К.П.Плюснин, палеовулканической карты СССР — Ю.С.Каретин, карты асбестовосности СССР — К.К.Золотов и т.д.).

Все это свидетельствует о высоком научном уровне исследований, выполненных в УГСЭ за годы ее существования.

В настоящее время УГСЭ, как и другие предприятия отрасли, переживает, быть может, самые тяжелые времена своей полувековой истории. Экономический кризис, охвативший страну и больно ударивший по ее геологоразведочной отрасли, не обошел стороной и Уральскую геолого-съемочную экспедицию. Об этом свидетельствует резкий спад всех объемов работ (бурения, проходки горных выработок, опробования, геофизических, лабораторно-аналитических и т.д.) за последние 5—6 лет. В отдельные годы численный состав экспедиции достигал 1400 человек, в т.ч. ИТР — 700—800. В настоящее время в ОАО «Уральская геолого-съемочная экспедиция» работает всего 350 сотрудников, в т.ч. на основном производстве — 257 (из них ИТР только 227). Из-за систематического недофинансирования резко сократилась продолжительность полевых работ. В то же время УГСЭ имеет необходимые резервы и готова существенно развить производственные мощности при соответствующем увеличении финансирования по государственному заказу геологоразведочных работ.

В последние годы УГСЭ вынуждена развивать внебюджетное производство, без которого невозможно в современных рыночных условиях нормальное существование в России любого предприятия и, в особенности, геологоразведочного направления. Однако коммерческое производство пока не достаточно развито и приносит относительно небольшие прибыли, которые к тому же акционерное общество вынуждено расходовать на покрытие налоговых задолженностей, образующихся в существенной степени из-за несвоевременного и неполного финансирования госзаказа. Но даже и в сложнейших современных экономических условиях коллектив экспедиции продолжает упорно трудиться, выполняет все поставленные перед ним задачи, ищет новые пути работы в условиях рыночной экономики.

Вступая в XXI в. и третье тысячелетие мы верим в грядущий успех и предпринимаем все усилия, чтобы Уральская геолого-съемочная экспедиция, развивая свои лучшие традиции, могла бы так же успешно работать для укрепления и развития минерально-сырьевой базы Урала, как и в предыдущие лучшие годы своей истории.

40 лет назад *Е.К.Устиев* обосновал выделение Охотского пояса в качестве самостоятельной геотектонической единицы переходного типа, расположенной между складчатыми областями на периферии Тихоокеанского бассейна — мезозойской Колымо-Чукотской и кайнозойской Охотско-Камчатской.

Раннемеловому этапу становления Охотского пояса отвечает накопление мощных вулканогенных толщ преимущественно андезитового состава с подчиненным количеством базальтов и щелочно-земельных липаритов и внедрение сложно дифференцированных интрузий гранодиоритового состава. Позднемеловой этап фиксирован образованием угленосных впадин и эксплозивным вулканизмом с преобладанием дацитов, липаритов и щелочных липаритов; плутониты представлены лейкократовыми гранитами, гранит-порфирами и палингенными гранитами, субщелочными и щелочными гранитами. Третичный этап отличался исключительным развитием базальтовых и андезитобазальтовых трещинных излияний при малой распространенности плутонитов — диорит-андезитового, габбро-долеритового и иногда гранитного составов.

В статье *В.В.Архангельской и А.Г.Каца* впервые приведено геолого-петрографическое описание Кондерского щелочно-ультрамафитового кольцевого плутона на востоке Азланского шита. Ядро плутона выполнено дунитами, обрамленными в плане правильными округлыми массивами, диаметром около 6 км. Дуниты содержат шпильки и линзы хромитов, в которых обнаружена вкрапленность самородной платины. Дуниты окружены замкнутым кольцом пироксенитов. Внешнее, открытое к северу кольцо сложено сиенитами. Тело плутона рассечено дайками и жильными телами щелочных пород и карбонатитов. Кондерский плутон рассматривался как трубка взрыва, заполненная продуктами ультращелочных и ультрамафитовых расплавов.

Л.И.Блохина, В.С.Коптев-Дворников, М.Г.Ломизе, М.А.Петрова, Э.И.Тихомирова, Т.И.Фролова, Е.Б.Яковлева предложили новую классификацию древних вулканогенных обломочных пород, основанную на характеристиках, которые можно установить макро- и микроскопически. Выделены четыре группы пород в соответствии с составом цементирующей массы и относительными содержаниями пирокластического и осадочного материалов: лавовые брекчии, пирокластическая, существенно пирокластическая (туффиты) и пирокластически-осадочная (туфогенно-осадочная). Дальнейшее подразделение учитывает гранулометрический состав, а также гомогенность или гетерогенность кластического материала.

Предложенная классификация позволяет проводить разделение вулканогенных обломочных пород с различной степенью дробности в зависимости от детальности и задач геологических исследований.

30 лет назад *В.В.Федынский* рассмотрел состояние проблемы изучения минеральных ресурсов дна морей и океанов, выделив два главных направления развития морских геолого-геофизических исследований: освоение континентального шельфа и глубоководного океана.

В пределах континентального шельфа страны наиболее актуальны поиски месторождений нефти и газа, а также россыпей титана, олова, золота и других металлов. Успехи в изучении Мирового океана являются основой практического изучения и поисков месторождений нефти, газа и фосфоритов в пределах склона континентального шельфа и в прилегающих частях абиссали, а в глубоководном океане — марганца, никеля, рудоносных рассолов.

Для регионального изучения глубинного строения дна океанов рекомендовался комплекс геофизических методов (грави-, магнитометрия, сейсморазведка), а для поисков перспективных на нефть и газ структур в осадочной толще шельфа — геоакустические и сейсмические методы. Комплексная обработка обширной геофизической информации достигается использованием ЭВМ на борту судов.

Е.М.Некрасов и С.Ф.Редькин на примере свинцово-цинковых жильных руд Садонского рудного пояса, Карамарской провинции и других областей, обладающих многоэтажным строением, показали, что на границе структурных этажей происходит коренная перестройка трещинных элементов структур и морфологии рудных тел.

В верхнем структурном этаже при небольшой нагрузке экранирующих пород формируются резко изгибающиеся, разветвляющиеся к поверхности разрывы сложного стро-

ения с многочисленными опережающими трещинами, в которых возникают преимущественно зоны жильного, прожилкового и штокверкового оруденения с большим количеством апофиз. В нижнем структурном этаже формируются сравнительно прямолинейные жилы плитообразной формы, приуроченные к выдержанным зонам дробления и плоскостям скольжения.

Л.Н.Хетчиков, И.Н.Аншук, С.А.Смирнова привели результаты экспериментальных работ, доказывающие возможность образования типичной эффузивной лейцитосодержащей породы щелочного состава путем воздействия на микроклин и гранит газовых эманаций, отделяющихся от фторсиликатного расплава. Помимо легколетучих компонентов в парах фторсиликатного расплава происходит перенос тяжелых металлов, таких как свинец, железо и др.

20 лет назад публикацией статьи *Е.А.Козловского* «Минерально-сырьевая база и фактор времени» была открыта дискуссия по проблеме геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых.

Рассмотрев проблемные вопросы учета фактора времени в геологоразведочном производстве, а также при геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых, Е.А.Козловский подчеркнул, что учет фактора времени в экономике минерального сырья является актуальной многоаспектной проблемой, имеющей большое народнохозяйственное значение. При ее решении представляется необходимым использование изменчивости экономических, технических, природных и других показателей оценки месторождений с максимальным приближением значений соответствующих величин к реальному времени промышленного освоения разведанных запасов.

С применением методов логико-информационного анализа *М.М.Константиновым, Р.М.Константиновым и И.А.Чижовой* исследован ряд золото-серебряных месторождений в вулканогенных областях. Установлено, что изменение соотношений золота и серебра в рудах сопровождается сменой характерных групп минералов и геохимических ассоциаций элементов. Намечена взаимосвязь минералого-геохимических особенностей руд золото-серебряных месторождений с их геотектоническими позициями и составом вулканических комплексов.

Н.Я.Куниным, Л.И.Иогансоном и Г.А.Балевской проведено обобщение геолого-геофизических материалов по Прикаспийской впадине. По авторам, в среднем-позднем палеозое эта структура представляла собой обширную гетерогенную околократонную зону погружения и осадконакопления с субокеанической земной корой. Подсолевой разрез впадины характеризуется резкой литолого-фациальной изменчивостью, наличием зон аномально высоких пластовых давлений и сложным рельефом фундамента, чем определяются перспективы нефтегазоносности, а также направления и методика поисков.

Х.Т.Туляганов, В.Д.Ильин, А.Г.Ибрагимов с соавторами подвели итоги работ по поискам и разведке нефтяных и газовых месторождений в рифовых ловушках, резко изменивших структуру их балансовых запасов в Узбекистане. Рассмотрены особенности нефтегазоносности разнофациальных карбонатных отложений и описаны новые методические разработки, позволяющие вести поиски и разведку месторождений в рифовых ловушках различного типа с высокой эффективностью.

Б.В.Рыжов проанализировал процессы преобразования россыпных месторождений, происходящие при переотложении или проявлении постседиментационных процессов и выражающиеся в изменении генезиса, динамического класса, условий залегания, строения и вещественного состава россыпи, в т. ч. и ее ценного компонента. Преобразование ценных минералов заключается в изменении их зерен по крупности, морфологии, степени окатанности и облику поверхности. Наиболее разнообразны они у золота.

10 лет назад *А.С.Барышев и Г.С.Вахромеев* разработали методологию формирования физико-геологических моделей разноранговых объектов прогноза и поисков, под которыми понимается вычлененная по резкостным физическим границам совокупность геологических тел, аппроксимирующая форму, размеры, структуру и вещественный состав реальных геологических образований и отражающая их система физических полей. Формирование многопараметровых физико-геологических моделей повышает

эффективность прогнозирования и поисков месторождений, а иерархический ряд моделей (рудный узел — рудное поле — месторождение — рудное тело) раскрывает пространственные и структурно-вещественные связи ранжированных разноглубинных физических неоднородностей, являющихся элементами рудообразующих систем, позволяет исследовать целостность любой части системы и располагать целевым объектом изучения на любой стадии геологоразведочных работ.

Д.В.Рундквист, В.Б.Дагелойский и Н.Н.Красников пред-

ложили систему критериев прогноза и последовательность их использования применительно к золоторудным месторождениям зеленокаменных поясов архея. Критерии прогнозирования рассмотрены в очередности их значимости по отношению к разноранговым прогнозным площадям — от поясов и зон до локальных структур, контролирующих рудные тела.

Материал к публикации подготовил Г.В.Ручкин

Геологические исследования в Русской Америке (конец XVIII в. — 1867 г.)*

Е.А.КИРИЛЛОВ

<...> С началом хозяйственного освоения новых земель и их обживания и особенно с образованием в 1799 г. Российско-Американской компании (РАК), усилиями которой в основном осваивались новые территории в Русской Америке, поискам полезных ископаемых и их использованию для местных нужд стало уделяться большее внимание. <...>

<...> В 1867 г. Аляска и все земли Русской Америки были проданы за 7,2 млн. долларов США. По этому поводу в то время много писалось во всем мире и в России. Либеральная газета «Голос», которая резко выступала против официальной печати, поддерживающей решение правительства о продаже Аляски, констатировала, в частности, что продажа эта осуществлена именно тогда, когда в

недрах Русской Америки «открыты многообещающие признаки золота». Но в то время там были известны уже не только «признаки», о которых знали и писали П.П.Дорошин и другие, а промышленное золото. Его там будет добыто новыми хозяевами с 1880 по 1950 г. 835 т, а за весь период золотодобычи более 900 т, что по ценам до 1934 г. составляет 600 млн. долларов. В дальнейшем из россыпей на Аляске стали добывать еще и платину, олово, вольфрам. Прибавим сюда одно богатство современной Аляски — нефть и газ. У истоков этих богатств стояли русские исследователи и горные инженеры. И если эти богатства недр не были в должной мере востребованы своим временем, то это уже не их вина. <...>

* Е.А.Кириллов. Тихоокеанская геология. 1993. № 2. С. 153—159

GEMCOM

программное обеспечение для горнодобывающих и геологоразведочных предприятий

Среди большого числа импортных и отечественных софтов для нужд горнодобывающих и геологоразведочных предприятий, появившихся на российском рынке программных средств, достойное место заняла серия программ канадской фирмы GEMCOM, представившей 4 модификации, имеющие различный спектр функциональных возможностей. Каждая из них учитывает круг задач, решаемых пользователем, стадию освоения месторождения, способ отработки, масштабы работ и финансовые возможности покупателей.

Gemcom Field Unit Edition

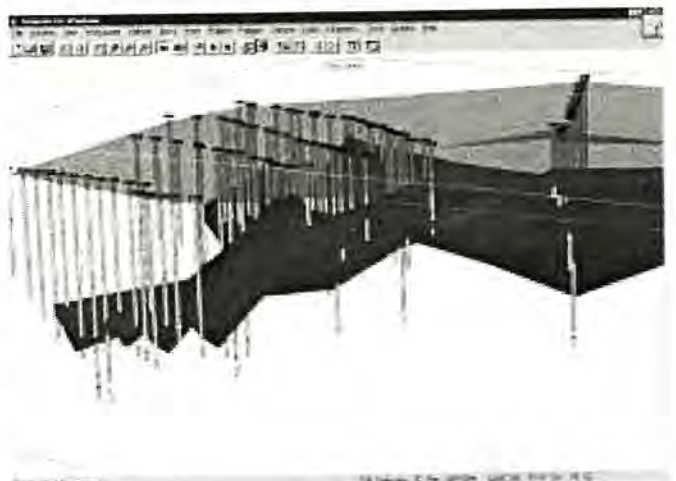
Для геологоразведочных организаций, приступающих к изучению нового рудопроявления или доизучению площадей в пределах горного отвода действующего рудника на первых порах вполне достаточно закупить модификацию *Field Unit Edition*. Она предназначена для создания и проверки целостности и корректности баз данных, построения рабочих разрезов, планов и схем. Основные потребители — горный или буровой мастер, маркшейдер, геолог. *Field Unit* может быть установлена на переносные компьютеры notebook и использоваться непосредственно на рабочем месте. При наличии компьютерной сети работать с базами данных могут одновременно несколько пользователей, независимо от их местоположения.

Gemcom Essentials Edition

В процессе подготовки месторождения к подсчету запасов и составления технико-экономического обоснования кондиций геологам и горнякам необходимо уже создавать сводную трехмерную модель месторождения, проводить стандартные статистические и геостатистические исследования. Здесь целесообразно использовать модификацию *Essentials Edition*. Она обеспечивает возможность просмотра в трехмерном пространстве данных топографии и маркшейдерии, строить планы и профили (в том числе по ломанным линиям), пересчитывать значения координат, контролировать правильность ввода информации в рабочие базы данных, строить графики распределения вероятностей и гистограммы, линейные и объемные вариограммы, выделять тренд и т.п. Этот модуль будет полезен в работе участковому геологу, технологу, руководителю горных работ.

Gemcom Advanced Exploration Edition

Для рудных месторождений с очень сложной морфологией рудных тел, наличием многочисленных даек и пострудных тектонических нарушений, высокой изменчивостью содержаний и наличием других осложняющих их анализ факторов предназначена версия *Advanced Exploration Edition*. Она позволяет сформировать трехмерные объемные геологические модели, поэкспериментировать с построением трехмерных поверхностей нарушений для определения параметров смещений по ним рудных тел или пластов пород, определить линии пересечения тел и поверхностей, выделить сорта руд, укажет на ошибки при построении объемных моделей и поможет исправить их. Возможность



сглаживания поверхностей с использованием разнообразных процедур сплайна обеспечивает телам и поверхностям максимально реалистичное изображение. Графические возможности версии полностью удовлетворяют потребности геологоразведочной партии или экспедиции, старательской артели, горного участка или карьера. Качество и скорость создания карт с условными обозначениями, линиями контуров (границы рудных тел, изолинии подсчетных параметров, горизонталы и др.) и красочные растровые изображения обеспечиваются на любом поддерживаемом WINDOWS принтере или графопостроителе. *Advanced Exploration Edition* предназначена также для решения вопросов проектирования добычи полезных ископаемых. Рекомендуется к использованию геологами, горными инженерами.

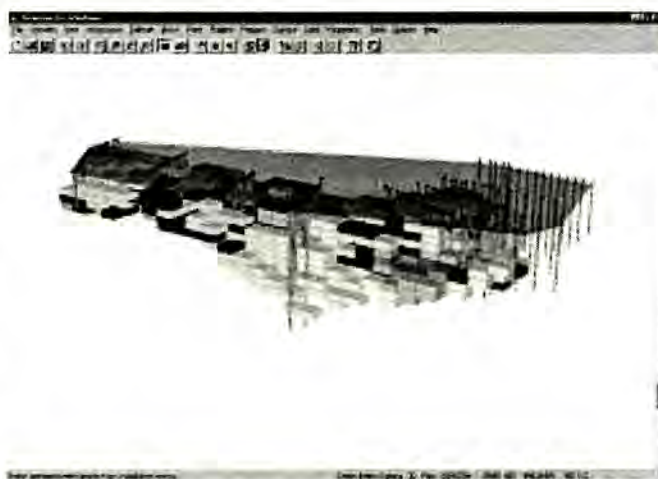
Gemcom Resource Evaluation Edition

В 1998 г. на российском рынке появилась еще одна модификация GEMCOM *Resource Evaluation Edition*, наиболее полный по своим функциональным возможностям программный продукт, предназначенный преимущественно для горнодобывающих предприятий. Помимо расширенных процедур объемного моделирования, подсчета запасов и блочного моделирования (обычный и индикаторный крайгинг, метод обратных расстояний, контроль процесса интерполяции с использованием параметров анизотропии, геологических границ и т.д.), позволяет провести анализ месторождения с точки зрения оптимизации затрат по его освоению. Значительная часть операций, сопровождающих подсчет запасов, автоматизирована: определение коэффициентов рудоносности и вскрыши, замена отсутствующих данных опробования, сортировка данных в соответствии с кондиционными показателями и многое другое. Для решения задач краткосрочного и долгосрочного планирования горнодобычных работ можно использовать оптимизационное программное обеспечение компании *Whittle*, которое позволяет прогнозировать и контролировать ход добычных работ в интерактивном режиме. Точность подсчета запасов методом крайгинга в *Resource Evaluation Edition* повышена за счет внедрения операции *needling*, которая точно определяет в пределах подсчетного блока соотношение балансовых и забалансовых руд, рассчитывает показатели возможного разубоживания, если селективная выемка невозможна, и т.д. Данная версия применима на рудных телах любой морфологии (жилы, зоны, штокверки, залежи и пр.), любой сложности и любых геолого-промышленных типов (коренные, россыпные, коры выветривания).

Перечисленные версии GEMCOM могут быть оснащены дополнительными модулями, которые существенно расширяют круг решаемых задач и повышают глубину их проработки. Например, для оптимизации размещения буровзрывных скважин при открытой добыче предназначены модули *Blasthole Layout* и *Ring Drilling*. При организации добычных работ краткосрочное планирование рудопотоков осуществляется модулями *Open Pit Planning* и *Short Term Planning*. Для обеспечения маркшейдерских работ, использующих лазерное измерительное оборудование, рекомендуются модули *Optech CMS Interface*. Для оптимизации границ ка-

рьеров по методу Лерча-Гроссмана путем многовариантного моделирования и анализа результатов рекомендуется использовать программное обеспечение фирмы *Whittle Three-D* и *Four-D*. Для проектирования рудников, организации и планирования добычных работ подземным способом разработаны модули *Underground Mine Design* и *Underground Mine Production*.

Особенностью представленных версий GEMCOM, отличающей их от таких известных пакетов сходного назначения, как *TechBase*, *Volcan*, *DataMine*, *Surpak*, является работа под Windows95/NT, совместимость с Microsoft Access и Excell, неограниченные возможности экспорта/импорта в AutoCad, ESRI ArcView3 и другие приложения, поддержка стандарта дигитайзера WinTab (возможность ввода данных непосредственно с дигитайзера в базу данных), совместимость с любой периферией, поддерживаемой Windows и др. Программное обеспечение от GEMCOM



успешно применяют более 1600 фирм и компаний — от совсем небольших до таких гигантов, как *RTZ*, *BARRICK*, *INKA* в 60 странах мира. Первые пользователи GEMCOM появились в России и странах СНГ. Система GEMCOM имеет наилучшее соотношение *цена-эффективность* в своем классе и, несомненно, найдет большое число приверженцев среди российских геологов и горняков, занятых разведкой и разработкой всех видов рудных и нерудных твердых полезных ископаемых, а также специалистов проектных и научно-исследовательских институтов.

Официальный дилер компании GEMCOM в России и странах СНГ — фонд «Горная графика» — готов не только предоставить подробную информацию о различных версиях программного обеспечения для геологоразведки и добычи полезных ископаемых, провести ознакомительные семинары и обучение, но и выполнить на консалтинговой основе все виды работ по подсчету запасов, подготовке отчетов, графических материалов и др.

Получить дополнительную информацию можно:

Internet: www.nvkvist.ru/gg.html

E-mail: sten@nkvist.ru; kam@nkvist.ru

Факс: (095)-3608377; (095)-2382044

Тел.: (095)-3608223, (095)-3608377, (095)-2387722

<i>Editorial</i>	3
From correspondence of E.A.Kozlovsky and D.Peck.	4
<i>Frolov V.T.</i>	
On the place and role of Russian geology in the world science	5
<i>Goncharov M.A.</i>	
From plate tectonics to geodynamics of hierarchically related geospheres.	10

METALLOGENY AND MINERAGENY

<i>Fogelman N.A.</i>	
The main principles of formational analysis of gold-bearing districts and ore fields for the prediction purposes.	14
<i>Kremenetsky A.A., Gusev G.S.</i>	
Lines of prospecting geochemistry concerning evaluation of mineragenetic potential of riftogeneous complexes and sedimentary cover of the East European platform.	19
<i>Skripchenko N.S., Tambiev A.S.</i>	
Linearity of lead isotope dispersions as a metallogenetic criterium	27

STRATIGRAPHY, REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS

<i>Efimov A.A.</i>	
Platinum-bearing belt of the Vral: tectono-metamorphic history of the old deep zone recorded in its fragments.	31
<i>Kazakov A.N.</i>	
Geotectonic division and metamorphic stages of the Mamskaya crystalline band.	40
<i>Ryblev A.G., Shergina Yu.P., Berzon Ye.I., Barsegyan V.Ye., Levchenkov O.A., Yakovleva S.S.</i>	
Isotopic age of Paleozoic volcanites in the Krasnoyarsk uplift and some issues of stratigraphy of the Beskarskaya series.	47

GEOECOLOGY

<i>Bgatov V.I., Lizalek N.A., Kuzhelny N.M.</i>	
Study of the zone of mineral alimentation of vegetation in the course of geoenvironmental investigations.	55
<i>Trophimov V.T., Ziling D.G.</i>	
Essence and importance of the concept of environmental functions of the lithosphere.	58

BOOK REVIEWS

<i>Fedorchuk V.P.</i>	
Geological Atlas of Russia.	65
<i>Belousov A.F.</i>	
Petrochemical diagram and petrogenetic model.	67
<i>Konstantinovskiy A.A.</i>	
Origin and mineral potential of sedimentary basins.	68
<i>Baryshev A.N., Gorzhevskiy D.I.</i>	
New geological map of Kazakhstan.	70

INFORMATION

<i>Nosovsky M.F.</i>	
Some comments on the Paleogene and Neogene stratigraphic scale of the Stratigraphic Code of the Ukraine.	71
70th anniversary E.A.Kozlovsky.	74

ON THE TRICENTENARY OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF RUSSIA

<i>Zolov K.K., Olsersky V.P., Rapoport M.S.</i>	
The 50-th anniversary of the Urals Geological Expedition.	75
A backward glance on the pages of our journal.	78