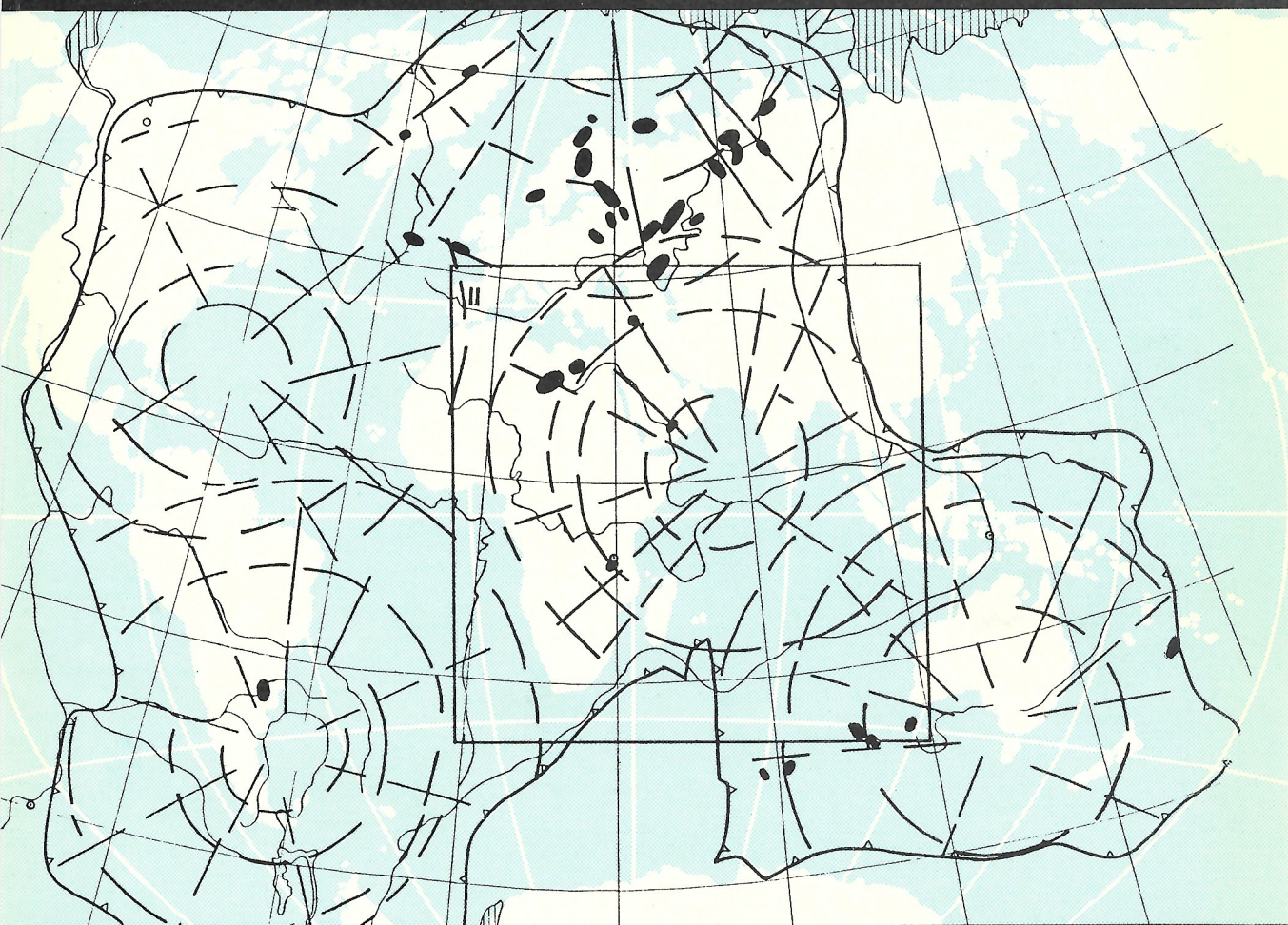


ISSN 0869-7175

Отечественная ГЕОЛОГИЯ



II/1996

МИРОВЫЕ ЗАПАСЫ УРАНА

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ И АЛМАЗОНОСНОСТЬ

ГИС И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

Отечественная ГЕОЛОГИЯ

Ежемесячный научный журнал

Основан в марте 1933 года

II/1996

Учредители:

Комитет по геологии
и использованию недр 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. Машиковцев,
Н. В. Милетенко, Л. В. Оганесян (зам. главного редактора), М. В. Ро-
гачева (отв. секретарь), А. Ю. Розанов, Г. В. Ручкин (зам. главного
редактора), Б. А. Соколов, В. И. Старостин, А. А. Шпак, А. Д. Щеглов
(председатель редсовета)

Редсовет: А. Н. Барышев, Э. К. Буренков, В. С. Быкадоров, Г. С. Вартамян,
Н. Н. Ведерников, И. С. Грамберг, А. Н. Еремеев, А. И. Жамойда, А. Н. Золо-
тов, 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. Я. Ярмолюк

РУДНЫЕ И НЕРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ		<i>Петров Г.В.</i>	
<i>Тарханов А.В., Ветров В.И., Абросимов А.А., Мельник Н.Г.</i>		Магнитный ореол гидротермальной колчеданной системы	44
Распределение мировых запасов урана . . .	3		
<i>Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д.</i>		ГЕОЭКОЛОГИЯ	
Кольцевые структуры Земли и алмазоносность	10	<i>Черемисина Е.Н., Кочетков М.В., Ларикова О.И.</i>	
<i>Путинцева Е.В., Иваников В.В., Филиппов Н.Б., Богачев В.А.</i>		ГИС-технологии при составлении электронных геозоологических карт	47
Благороднометаллная минерализация и алмазоносность щелочных комплексов Карело-Кольского региона	18		
<i>Гемп С.Д.</i>		ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА	
Влияние структуры Верхнекамского месторождения калийных солей на его эксплуатацию .	26	МИРОВОГО ОКЕАНА	
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ		<i>Горяинов И.Н., Казакова В.Е., Смекалов А.С.</i>	
<i>Страхов П.Н., Лысак Н.В.</i>		Проецирование на поверхность океана выходов подводных гидротерм	50
О сообщаемости между пустотами различного генезиса в карбонатных отложениях	32		
ГЕОФИЗИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ		РЕЦЕНЗИИ	
<i>Бондаренко А.Т., Абрамов В.Ю., Зинчук Н.Н., Пыстин А.Б.</i>		<i>Островский В.Н.</i>	
Распределение электрических и радиоволновых параметров карбонатных пород в межразломном пространстве	37	Экология — теория, законы, правила, принципы и гипотезы	54
		<i>Жабин А.Г.</i>	
		Самородное золото как живой организм . . .	56

Редакция: Р.В. Добровольская, Г.В. Вавилова, М.В. Рогачева

Сдано в набор 10.09.96. Подписано в печать 19.10.96. Формат 70×108/8. Бумага мелованная. Печать офсетная. Тираж 1000 экз.

Адрес редакции: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129б.
Телефон: 315-28-47

Отпечатано Государственным картографо-геодезическим предприятием «Поликарт»

Распределение мировых запасов урана

А.В.ТАРХАНОВ (ВНИИХТ), В.И.ВЕТРОВ (АО «Атомредметзолото»), А.А.АБРОСИМОВ, Н.Г.МЕЛЬНИК (ВНИИХТ)

Сведения о распределении запасов урана по типам месторождений, геологическим структурам и эпохам рудообразования неоднократно приводились в докладах МАГАТЭ и других публикациях. Однако они касались исключительно капиталистических и развивающихся стран (ниже они называются Первая группа стран — ПГС). Лишь в 1991 г. на Техническом комитете МАГАТЭ были впервые сообщены данные о запасах урана в СССР [1]. В разные годы в литературе приводились данные о запасах некоторых стран бывшего социалистического лагеря. В данной статье изложены результаты детального анализа распределения запасов урана в бывших СССР и странах социалистического лагеря, кроме КНР (Вторая группа стран — ВГС) по материалам фондов Министерства Российской Федерации по атомной энергии [2]. Проведен сравнительный анализ минерально-сырьевой базы урана обеих групп стран, при этом запасы учитывались по единому принципу. В подсчет запасов включены только отработанные и разведанные запасы категорий С₁ и С₂, а также ресурсы категории Р₁ (по классификации МАГАТЭ — обоснованные запасы и первая категория запасов, оцененных дополнительно).

По себестоимости получения 1 кг природного урана в концентрате в расчет принимались запасы стоимостной группы ниже 130 долл.

Промышленные типы месторождений выделены в соответствии с классификацией МАГАТЭ с некоторыми необходимыми изменениями и дополнениями.

1. Месторождения «песчаникового» типа — стратиформные месторождения, сформированные в связи с зонами пластового или грунтового окисления и локализованные в проницаемых породах платформенного чехла. Сюда условно отнесены все инфильтрационные экзогенные месторождения, в т.ч. и калькреты.

2. Древние ураноносные конгломераты районов Витватерсранд (ЮАР) и Эллиот-Лейк (Канада) и аналогичные им месторождения.

3. Месторождения типа «несогласия», аналогичные районам Атабаски (Канада) и Пайн-Крик (Австралия).

4. Жильные и жилородные месторождения. Они включают классические жилы, образованные путем выполнения открытых полостей, и зоны прожилково-штокверкового оруденения, формирующиеся преимуще-

ственно путем выполнения открытых полостей с подчиненным развитием процессов метасоматоза.

5. Уникальные месторождения — отдельные месторождения или группы месторождений одного рудного поля, которые не имеют аналогов. К ним относятся, например, месторождение Олимпик-Дэм (Австралия) и группа месторождений Роннебургского рудного поля (Германия).

6. Метасоматические месторождения — месторождения, руда которых сложена почти целиком новообразованными метасоматическими минералами, а реликтовые минералы исходных пород содержатся в незначительных количествах (обычно 10 % и менее). Яркими представителями этого типа являются урановые месторождения в карбонатно-натриевых метасоматитах, в частности в альбититах Украинского и калиевых метасоматитах Алданского щитов.

7. Ураноносные граниты и пегматиты — месторождения вкрапленных уранинитовых руд в пегматитовых жилах и алогранитах. К первым из них относятся месторождения района Банкрофт (Канада), ко вторым — месторождение Россинг (Намибия). Месторождения Побужского района (Украина) локализуются как в пегматитовых жилах, так и в контактирующих с ними измененных мигматитах и гранитах.

8. Месторождения других типов — мелкие месторождения, не относящиеся ни к одному из вышеперечисленных типов (брекчиевые трубки, карсты, ураноносные черные глины), и средние по запасам месторождения спорного генезиса, известные лишь в отдельных районах. Например, месторождения в докембрийских осадочных породах прогибов Франсвил (Габон) и Онежского (РФ). Сюда же отнесены и редкоземельно-урановые месторождения, представленные скоплениями костного детрита ископаемых рыб.

Всего по странам ВГС (СССР, ГДР, ЧССР, НРБ, ВНР, Румыния, Польша, Монголия) учтено 508 месторождений урана. Их распределение по запасам урана показано в табл. 1.

Распределение запасов урана по промышленным типам месторождений приведено в табл. 2.

Самое большое количество месторождений (59 %) представлено жильным типом. Среди них преобладают прожилково-штокверковые (249 месторождений), с которыми связано 21,7 % запасов. С классическими

1. Распределение месторождений по запасам урана

Запасы урана, т	Число месторождений	Запасы, %
<i>Мелкие</i>		
До 1000	233	1,94
1000-10000	188	16,01
Итого	421	17,95
<i>Средние</i>		
10 000—50 000	71	35,95
<i>Крупные и очень крупные</i>		
50 000—100 000	11	17,09
Более 100 000	5	29,01
Итого	16	41,10
Всего	508	100

жилыми месторождениями связано 4,8 % общих запасов ВГС, из которых 60 % приходится на два крупнейших месторождения Шлема-Альберода (ФРГ) и Пришибрам (Чехия).

Ураноносные конгломераты представлены всего одним мелким месторождением (Николо-Козельское) в Криворожском бассейне на Украине. Только в Побужском районе Украины разведано 3 небольших месторождения в пегматитах, однако число недоразведанных месторождений и рудопроявлений этого типа достигает многих сотен.

Уникальные месторождения представлены 15 месторождениями Роннебургского рудного поля (Германия), за пределами которого установлены лишь единичные мелкие объекты аналогичного типа. Среди месторождений других типов наибольший интерес представляют крупные месторождения урана на п-ове Мангышлак (Казахстан), связанные с костным детритом ископаемых рыб в палеогеновых отложениях.

Сравнительный анализ распределения запасов урана в обеих группах стран и в мире в целом по типам месторождений можно провести по данным табл. 3 и рис. 1. Несомненно, что как для каждой из групп стран, так и для мира в целом наиболее значимыми являются месторождения «песчаникового» типа, с которыми связана большая часть запасов и которые могут обрабатываться сравнительно дешевым методом подземного выщелачивания.

На поиски ураноносных древних конгломератов в обеих группах стран были практически безрезультатно затрачены большие средства. Обнаружение новых месторождений этого типа маловероятно и в дальнейшем. Богатые и крупные месторождения урана типа «несогласия» сравнительно недавно открыты пока только в Канаде и Австралии и перспективы их обнаружения еще далеко не исчерпаны. Поискам месторождений данного типа в России и на Украине уделяется самое пристальное внимание.

Давно известные жильные месторождения в ПГС почти полностью отработаны, однако следует обратить внимание на поиски широко распространенных в России, Казахстане, Чехии прожилково-штокверковых месторождений, содержащих значительные за-

2. Распределение запасов урана по промышленным типам месторождений

Типы месторождений	Число месторождений	Запасы, %
Песчаниковый	112	40,8
Ураноносные конгломераты «Несогласия»	1	0,04
Жильные и жиллоподобные	301	26,5
Уникальные	25	4,2
Метасоматические	41	24,8
Ураноносные граниты и пегматиты	3	0,4
Другие	25	3,3
Всего	508	100

пасы урана. Это же относится и к метасоматическим месторождениям, широко развитым на Украинском (ураноносные альбититы) и Алданском (ураноносные калиевые метасоматиты) щитах, значительным по масштабам, с запасами, обычно превышающими 25 тыс. т, и рядовыми по содержанию урана рудами.

Распределение запасов урана по эпохам рудообразования показано в табл. 4 и на рис. 2. Руды большинства урановых месторождений формируются и преобразуются на протяжении нескольких эпох. В табл. 4 они отнесены к той эпохе, когда формируется основная масса руд данного месторождения. Например, урановые минералы в конгломератах имеют возраст 3100—1000 млн. лет. Конгломераты Криворожского бассейна образовались в трансваль-гуронскую эпоху (2500±100 млн. лет), с которой связано формирование значительной части руд месторождений Витватерсранд и Эллиот-Лейк. В дальнейшем все эти руды подвергались преобразованиям в беломорскую и гренвилевскую эпохи, в результате чего большая часть приобрела радиологический возраст 2000±100 млн. лет.

Все урановые месторождения мира сформированы почти синхронно в 13 эпох рудообразования. Эпохи представляют собой довольно узкие интервалы времени, точную длительность которых трудно определить из-за большой погрешности в определении радиологического возраста урановых руд. Большая часть мировых запасов урана связана с докембрийскими (31 %) и мезозой-

3. Распределение запасов урана по типам месторождений, %

Типы месторождений	ПГС	ВГС	Всего в мире
1. Песчаниковый	42,7	40,8	41,7
2. Ураноносные конгломераты	17,3	0,04	8,4
3. «Несогласия»	15,4	—	7,5
4. Жильные			
классические жилы	3,4	4,8	4,1
прожилково-штокверковые	5,4	21,7	13,8
5. Уникальные	7,9	4,23	6
6. Метасоматические	3,1	24,8	14,3
7. Ураноносные граниты и пегматиты	2,8	0,4	1,5
8. Другие	2	3,3	2,7

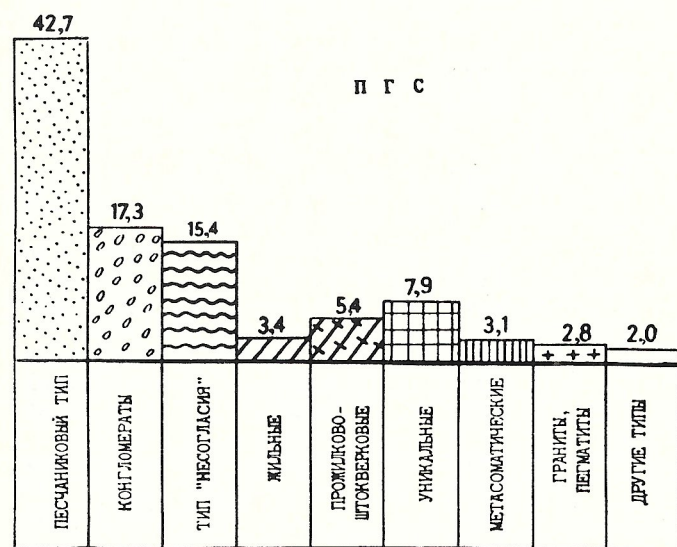
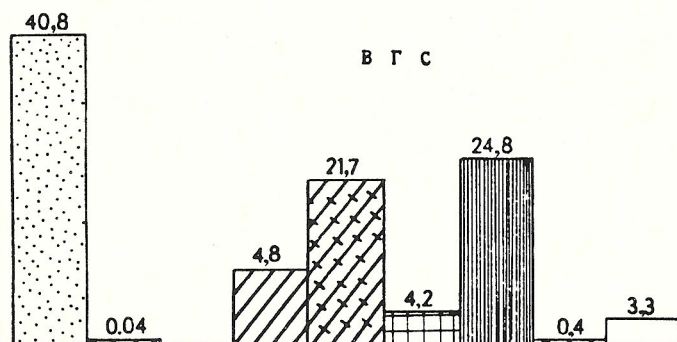
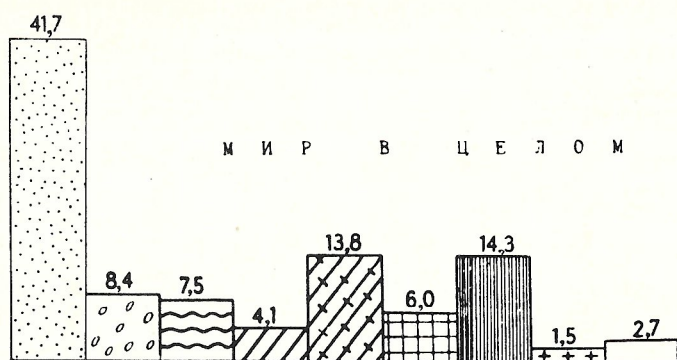


Рис. 1. Распределение запасов урана по типам месторождений, %

скими эпохами рудообразования (34 %), на полеозойские эпохи приходится 11 % и кайнозойские 24 %.

В ВГС по сравнению с ПГС выявлено мало месторождений докембрийского возраста. Их запасы составляют соответственно 5 и 26 % мировых запасов. Обратная картина наблюдается для месторождений палеозойского возраста, совершенно неизвестных в ПГС и составляющих 11 % мировых запасов в ВГС.

Большая часть эндогенных типов месторождений связана с древними эпохами рудообразования, а экзогенные месторождения песчаникового типа сформированы только в молодые эпохи. Жильные месторождения характерны почти для всех эпох от раннего протерозоя до кайнозоя.

Интересные данные получены по распределению запасов урана в различных геологических структурах (табл. 5, рис. 3). Более 70 % мировых запасов урана связано с месторождениями, локализованными в депрессионных структурах. Из них примерно 40 % запасов сосредоточено в месторождениях платформенного чехла, представленных в основном песчаниковым типом, и 30 % в месторождениях тафrogenных прогибов. Наиболее крупные месторождения песчаникового типа локализуются в синеклизах платформенного чехла (37,4 % мировых запасов) и менее значительные в межгорных впадинах (2 %) и палеоруслах (2,5 %).

В тафrogenных прогибах локализуется наибольшее число типов месторождений (5

4. Распределение запасов урана месторождений разных типов по эпохам рудообразования, %

Эпоха рудообразования	Возраст, млн. лет	Типы месторождений								Всего
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Беломорская	2000±100									
1			8,41					—	0,43	8,83
2			—					0,19	—	0,19
3			8,41					0,19	0,43	9,03
Гудзонская	1770±50									
1					0,71	0,11			—	0,82
2					—	4,83			0,48	5,31
3					0,71	4,94			0,48	6,13
Эльсонская	1500±100									
1					0,36	3,84	0,14			4,34
2					—	—	—			—
3					0,36	3,84	0,14			4,34
Гренвилльская	1000±100									
1				7,46	0,48			0,16		8,10
2				—	—			—		—
3				7,46	0,48			0,16		8,10
Катангская	650±50									
1					0,43					0,43
2					—					—
3					0,43					0,43
Дамарская	500±50									
1					0,85		1,28	1,17		3,30
2					—		—	—		—
3					0,85		1,28	1,17		3,30
Каледонская	390±20									
1					—					—
2					2,79					2,79
3					2,79					2,79
Ранневарисская	310±40									
1					—					—
2					2,23					2,23
3					2,23					2,23
Поздневарисская	270±30									
1					0,43	—			0,27	0,70
2					3,21	2,17			—	5,38
3					3,64	2,17			0,27	6,08
Киммерийская	180±40									
1		14,24			0,26		—		0,28	14,78
2		0,82			5,27		7,93		—	14,02
3		15,06			5,53		7,93		0,28	28,80
Раннеальпийская	70±10									
1		—			0,63				—	0,63
2		2,85			0,11				1,21	4,17
3		2,85			0,74				1,21	4,80
Позднеальпийская	20±5									
1		4,93			0,12					5,05
2		17,17			—					17,17
3		22,10			0,12					22,22
Современная	0—5									
1		1,61							—	1,61
2		0,11							0,03	0,14
3		1,72							0,03	1,75

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее: 1 — ПГС; 2 — ВГС; 3 — мир в целом; 1—8 — типы месторождений см. в табл. 3.

типов из 8). Наименее разборчивы относительно геологических структур жильные месторождения, локализующиеся во всех структурах, кроме платформенного чехла.

Ураноносные граниты и пегматиты связаны исключительно с завершающей стадией развития складчатых поясов, а метасоматические месторождения — с областями и зонами тектоно-магматической активации.

Всего в мире выявлено около 9,5 млн.т

урана. Из них в странах второй группы вместе с КНР (около 100 тыс.т) — 5 млн.т урана, из которых большая часть приходилась на СССР. В настоящее время в связи с распадом СССР большинство крупных месторождений оказалось за пределами России. На ее территории остались единственный освоенный промышленностью урановорудный район (Стрельцовский) и несколько потенциально рудных районов с известными

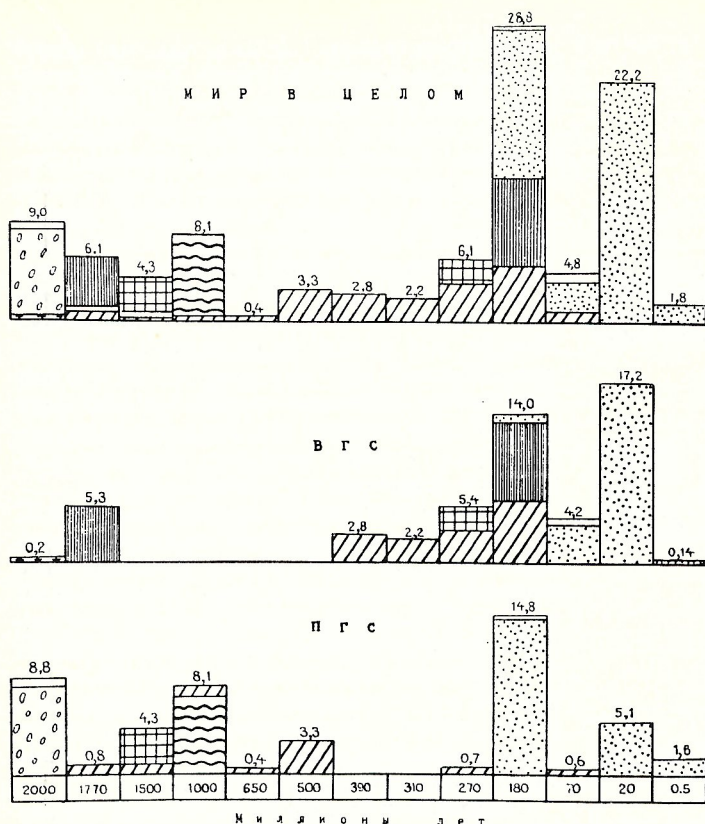


Рис. 2. Распределение запасов урана по эпохам рудообразования в месторождениях разных типов, %

средними и мелкими месторождениями. В 1993 г. обоснованные запасы урана вместе с первой категорией запасов, оцененных дополнительно менее чем в 130 долл. за 1 кг, составили без учета Алданского района России 299 700 т [3], т.е. 6 % разведанных и отработанных запасов второй группы стран. Такое положение объясняется тем, что в течение последних десятилетий основные средства направлялись на поиски и разведку месторождений урана за пределами России, а ее собственная территория, особенно северная и восточная части оставались практически не изученными.

Анализ приведенных материалов по распределению мировых запасов урана и основных особенностей геологического строения страны свидетельствует о больших перспективах территории России для создания надежной сырьевой базы ее атомной промышленности. Перечисленные типы месторождений урана должны быть ранжированы по значимости для решения этой задачи.

Первое место, безусловно, занимают месторождения *песчаникового* типа, запасы которых составляют 41,7 % мировых и которые могут отрабатываться наиболее дешевым методом подземного выщелачивания.

На второе место большинство специалистов ставят месторождения типа *несогласия*. Их главное достоинство — необычайно богатство руд. В Канаде отрабатываются руды с содержанием урана выше 1 %. На месторождении Сигар Лейк, имеющем разведанные запасы урана 150 000 т, среднее содержание урана 8 %. Месторождения Северной

Австралии значительно беднее. Лишь на небольшом (12 000 т) месторождении Наберлек среднее содержание урана выше 1 % (1,98 %), на остальных оно колеблется в интервале 0,3—0,4 %. Месторождения типа *несогласия* выявлены в Бразилии, Индии, Китае, по содержанию урана в рудах они относятся к рядовым (0,1—0,3 %).

Метасоматические месторождения урана занимают третье место по значимости. Их запасы составляют 14,3 % мировых и сосредоточены, главным образом, во второй группе стран, где к ним относится 24,8 % запасов. Часто эти месторождения бывают комплексными и содержат, кроме урана, промышленные концентрации золота, скандия, ванадия, фосфора и редкоземельных элементов.

На четвертом месте находятся самые распространенные в мире *жильные* и *прожилково-штокверковые* месторождения, запасы которых составляют 17,9 % мировых. Для руд этих месторождений характерны довольно высокие средние содержания урана 0,2—0,4 %, а на некоторых месторождениях и более 1 %.

При проведении поисково-оценочных работ следует иметь в виду возможность обнаружения новых промышленных типов месторождений, а также аналогов месторождений, относящихся в настоящее время к типу уникальных.

Принципиально не исключена возможность открытия крупных высокорентабельных месторождений, аналоги которых входят в общую группу *месторождения других*

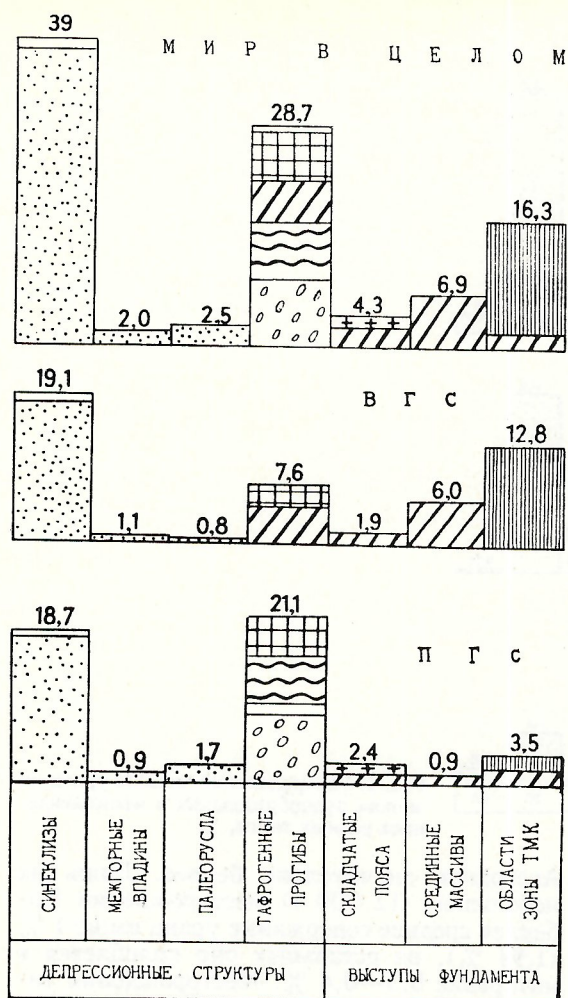


Рис. 3. Распределение запасов урана месторождений разных типов в геотектонических элементах земной коры, %

типов (брекчиевые трубки, костный детрит ископаемых рыб и др.).

При мелкомасштабном прогнозировании, по нашему мнению, следует опираться не столько на поисковые критерии и признаки определенных промышленных типов месторождений, сколько на выделение благоприятных геологических элементов земной коры, которые могут вмещать различные типы урановых месторождений (см. табл. 5). К таким элементам относятся, в первую очередь, синеклизы платформенного чехла, тафрогенные прогибы и области ТМА древних платформ. В сумме к ним приурочено 84 % мировых запасов урана.

На территории России пока неизвестны месторождения песчаникового типа, приуроченные к крупным синеклизам платформенного чехла. Установлены лишь мелкие и средние по масштабам месторождения в мезозойско-кайнозойских палеорулах. Ураноносность более древних отложений практически не изучена, хотя распространенность в них обстановок, благоприятных для формирования уранового оруденения, очень широкая и охватывает значительную часть

территории страны. Дело в том, что одной из необходимых предпосылок для образования инфильтрационных месторождений урана является существование аридного климата. В мезозое-кайнозое аридная климатическая обстановка охватывала только южную часть страны, ее северная граница проходила в широтном направлении через Витим и южные части Западно-Сибирской и Русской платформ. В палеозойскую эру пояса аридного климата имели северо-восточную, а в начале даже меридиональную ориентировку. Поэтому аридные обстановки охватывали огромные площади и занимали в различные периоды всю Русскую платформу, Урал, южное Зауралье, Восточно-Сибирскую платформу и Дальний Восток.

С учетом этого положения перспективными для поисков крупных месторождений урана песчаникового типа являются древние выступы Русской платформы (Воронежский массив, Тиманский кряж, Башкирский антиклинорий, южный склон Балтийского щита), обрамление Восточно-Сибирской платформы, в т.ч. северное, охватывающее острова Северного Ледовитого океана, а также чехол срединных массивов Дальнего Востока (Колымский, Охотский и др.).

Локальные площади на указанных территориях можно выделить на основе специализированного картирования и палеореконов структур благоприятных структурных обстановок.

Наиболее перспективными для выявления высокорентабельных месторождений различных типов, в т.ч. и месторождений типа несогласия, являются тафрогенные прогибы — депрессионные структуры, формирующиеся в условиях растяжения земной коры, что обуславливает отсутствие интенсивной складчатости и низкую степень метаморфизма толщ, слагающих прогибы. Даже в древнейших раннепротерозойских прогибах степень метаморфизма пород не превышает зеленосланцевой фации. Интенсивная складчатость в них проявляется лишь локально в зонах разломов и вблизи выступов ремобилизованного фундамента. Они имеют разнообразную в плане форму — изометрическую неправильную, округлую, эллипсоидную, иногда сильно вытянутую в одном направлении, и различные размеры — от первых десятков до сотен тысяч квадратных километров. На платформах тафрогенные прогибы могут быть перекрыты мощным платформенным чехлом.

Только месторождения типа несогласия, приурочены к структурам строго определенного возраста — к прогибам, в которых раннепротерозойский фундамент перекрывается позднепротерозойским чехлом. Месторождения других типов могут локализоваться в тафрогенных прогибах любого возраста.

На территории России известно большое число разновозрастных тафрогенных прогибов и почти все они слабо изучены на уран.

5. Распределение запасов урана месторождений различных типов в геологических элементах земной коры, %

Геотектонические элементы			Типы месторождений								N
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Депрессионные структуры	Платформенный чехол	Синеклизы									
		1	18,3							0,4	18,7
		2	19,1							1,2	20,3
		3	37,4							1,6	39,0
		Межгорные впадины									
		1	0,9								0,9
		2	1,1								1,1
		3	2,0								2,0
		Палеоруслы									
		1	1,7								1,7
		2	0,8								0,8
		3	2,5								2,5
Выступы фундамента		Тафрогенные прогибы									
		1		8,5	7,6	0,7	3,9			0,4	21,1
		2		0,02	—	4,9	2,2			0,5	7,6
		3		8,5	7,6	5,6	6,1			0,9	28,7
		Складчатые пояса									
		1				0,9		0,1	1,3		2,4
		2				1,8		—	0,2		1,9
		3				2,7		0,1	1,5		4,3
		Срединные массивы									
		1				0,9					0,9
		2				6,0					6,0
		3				6,9					6,9
		Области и зоны тектономагматической активизации									
		1				2,0		1,5		0,2	3,5
		2				—		12,9		—	12,8
		3				2,0		14,4		0,2	16,3

В восточной части Балтийского щита известно около двух десятков тафрогенных прогибов ранне-и позднепротерозойского возраста. Три из них (Приладожский, Западно-Онежский и Терский) по составу и возрасту отложений близки к прогибу Атабаска в Канаде, вмещающему крупнейшие урановые месторождения типа несогласия. Обширный прогиб того же возраста (Учур-Майский) занимает восточную часть Алданского щита. Аналогичные отложения установлены на юго-восточном склоне Воронежского массива. На Алданском щите и Воронежском массиве значительные площади занимают более древние раннепротерозойские прогибы, такие как Кодаро-Удоканский, Оскольский и др.

Широко распространены тафрогенные прогибы позднепротерозойского, палеозойского и мезозойского возрастов в обрамлении южного выступа Восточно-Сибирской платформы, в так называемом Иркутском амфитеатре. Здесь на орогенном этапе байкальской складчатости были сформированы многочисленные тафрогенные прогибы (грабен-синклинали), выполненные породами молассовой формации, которые прорваны гранитами, возраста 670 ± 50 млн. лет. В венде и раннем кембрии в краевых прогибах на границе с Восточно-Сибирской платформой и на относительно устойчивых глыбах внутри байкальской складчатой области форми-

руется квазиплатформенный чехол, близкий по составу и строению к чехлу тафрогенных прогибов. Граниты, прорывающие этот чехол, имеют возраст 510 ± 50 млн. лет. К самым молодым тафрогенным прогибам в этом регионе относятся мезозойские вулканотектонические депрессии, к одной из которых приурочены урановые месторождения Стрельцовского района.

Урановые месторождения различных промышленных типов, локализованные в тафрогенных прогибах, обладают некоторыми общими особенностями:

месторождения контролируются разломами, расположенными в краевых частях депрессий или внутренних выступов фундамента;

рудные тела расположены вблизи поверхности несогласия как в фундаменте, так и в чехле прогибов;

в чехле преобладает стратиформный характер рудных залежей, однако отдельные жилы и рудные прожилки занимают секущее положение по отношению к вмещающим породам, поэтому рудные залежи иногда приобретают крестообразную форму;

руды обычно комплексные, уран ассоциируется в них с медью, золотом, молибденом, кобальтом, серебром, никелем, мышьяком, ванадием, редкими землями и др.

Следует отметить, что в последние десятилетия все наиболее крупные месторожде-

ния урана, а также меди, полиметаллов и золота найдены в тафrogenных прогибах.

В областях и зонах ТМА сосредоточено более 16 % мировых запасов урана, и большая их часть связана с метасоматическими месторождениями Украинского и Алданского щитов. В целом руды данных месторождений относятся к бедным и рядовым, среднее содержание урана в них колеблется от 0,08 до 0,15 %. Однако можно выделить участки с более богатыми или комплексными рудами. В карбонатно-натриевых метасоматитах уран ассоциируется с фосфором, скандием, ванадием и РЗЭ, в калиевых метасоматитах — с золотом.

Метасоматические месторождения урана могут быть установлены в областях ТМА щитов древних платформ (Балтийском, Алданском и Анабарском) и Воронежском массиве. Возраст активизации, судя по возрасту руд известных месторождений, среднепро-

терозойский, раннепалеозойский и мезозойский.

Таким образом, почти вся территория России нуждается в пристальной переоценке, и ее возможности для выявления новых рудных районов с крупными высокорентабельными месторождениями урана поистине неограничены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laverov N.P., Velichkin V.J., Vetrov V.I., Lapin A.L., Krotkov V.V., Naumov S.S., Pelmenov M.D., Shumilin M.U. // Uranium resources of the Union of Soviet socialist Republics. JAEA. Technical Committee Meeting. 22—29 August 1991.
2. Tarkanov A.V., Vetrov V.I., Abrosimov A.A. Comparative Analysis of Uranium Resources of WOCA and Non-WOCA Countries // JAEA. Technical Committee Meeting. 5—8 Desember 1994.
3. Uranium. Resources, Production and Demand. JAEA. Paris, 1993.

УДК 551.243.13

© Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков, 1996

Кольцевые структуры Земли и алмазоносность

Ю.Н.СЕРОКУРОВ, В.Д.КАЛМЫКОВ (ЮНЕГЕО)

Материалы космических съемок наглядно показали, что на поверхности Земли проявлены многочисленные кольцевые образования, диаметром от десятков-сотен метров до тысяч километров. Как правило, формируются они концентрическим или радиально-концентрическим расположением орогидрографических, почвенных, растительных и прочих элементов ландшафта, а также существенным составом геологического субстрата. Четкость проявления кольцевых структур зависит от их ландшафтного (равнины, горы) или геотектонического (платформы, орогенные или активизационные области) положения, размера и многих других причин. В совокупности с многочисленными линейными и площадными неоднородностями они создают сложный рисунок современной поверхности Земли.

Сопоставление результатов дешифрирования кольцевых структур по космическим снимкам с существующими геолого-геофизическими материалами, проведенное многими исследователями практически на всех континентах, показало, что около 80 % их обусловлено геологическими процессами. При этом, лишь небольшая часть структур подтверждается непосредственно геологическими образованиями на поверхности (интрузии, заполненные осадками изометричные впадины, щитовые вулканы), а большинство связано с такими элементами, как своды и впадины в рельефе, участки трещиноватости, обводнения, вторичного изменения пород, скрытые геологические тела,

взрывы внутри земной коры, удары о поверхность метеоритов и т.д. Причиной возникновения кольцевых структур являются тектонические, магматические, вулканические, метаморфические, экзогенные и космические процессы, их сочетания между собой. Для множества структур до сих пор еще не найдено достаточно убедительного объяснения.

Связь кольцевых структур с нефтяными, газовыми и большинством эндогенных рудных месторождений сомнений уже не вызывает, и этому вопросу посвящено много работ. Обусловлена она тем, что развитие метаморфических, магматических, тектонических и экзогенных процессов во все геологические эпохи в значительной степени носило изометричный и очаговый характер, а следовательно кольцевые структуры в сочетании с линейными, рудоконтролирующая роль которых давно очевидна, служат индикаторами участков вероятной концентрации полезных ископаемых.

Геология алмазов, которые, очевидно, выделяются из этого ряда, исключения не составляет. Кольцевые структуры и здесь привлекали внимание исследователей и довольно детально описаны те, что контролируют размещение алмазоносных таксонов, находящихся почти на противоположных концах иерархического ряда — субпровинций и трубок [1, 4, 5, 7]. Предлагаемая работа развивает данное направление и показывает, что и другие алмазоносные таксоны в той

или иной мере контролируются структурами сопоставимого им ранга.

Одним из наиболее существенных факторов контроля алмазонасных субпровинций в пределах древних платформ считают [1, 4, 7] ядра архейской стабилизации, обладающие определенным составом и повышенной мощностью земной коры. В последние годы в качестве благоприятных признают и их краевые части, причлененные к ним в протерозое [3] и, таким образом, наращивающие стабильные блоки. Традиционный метод оконтуривания таких блоков — геологическое картирование, включающее изучение вещественного состава фундамента платформ с помощью бурения, что естественно, требует больших материальных и временных затрат вследствие развития мощных толщ фанерозойских образований, скрывающих его. Относительно редкая сеть достигших фундамента на платформах скважин не позволяет получать надежную картину его строения и состава. Применяемые гравиметрические и аэромагнитные съемки, различные модификации сейсмического зондирования в силу ряда объективных и субъективных причин также не дают однозначной для всей территории интерпретации первичных данных, что влечет за собой возникновение многочисленных вариантов структурных схем в зависимости от позиции авторов.

Очевидно, что и космические снимки мало пригодны для изучения состава фундамента, но в силу того, что последний опосредованно влияет на дальнейшую историю развития различных участков платформ, их использование перспективно при структурном районировании этих обширных территорий.

При анализе мелкомасштабных космических снимков М.З.Глуховской и Я.Г.Кац [4] установили на платформах гигантские кольцевые структуры, которые предложили называть нуклеарами и отождествлять с гетерогенными сиалическими ядрами, развивающимися на протяжении всей континентальной стадии развития земной коры. Пространство между ними, по мнению авторов, занято симатическими областями с незрелой континентальной корой. В совокупности упомянутые структуры определяют ячеисто-петельчатый характер строения фундамента древних платформ, и в платформенном покрове им соответствуют обычно крупные антеклизы и выступы фундамента, а интрануклеарным пространствам — синеклизы и трапповые поля.

В дальнейшем появилось еще несколько вариантов выделения гигантских кольцевых структур [1, 8] на платформах, которые лишь частично подтвердили предыдущие построения. Обусловлено это, по-видимому, как субъективностью восприятия различных исследований космическими изображениями, так и неодинаковым качеством использованного ими исходного материала. Существенную эволюцию со временем претерпели и

первоначальные схемы авторов, но основополагающая гипотеза о том, что овоидно-радиальные системы являются древнейшими тектоническими элементами платформ, отражающими состав первичной коры на ранних стадиях развития Земли, осталась неизменной. Дуговые и радиальные элементы, входящие в состав этих структур, рассматриваются как зоны высокой тектонической активности и проницаемости на протяжении всей истории развития литосферы, что предопределяет приуроченность к ним раннедокембрийских шовных прогибов (трогов), разновозрастных рифтовых систем, участков фанерозойского магматизма.

Проведенный нами в последние годы анализ космических снимков малого и среднего разрешения и топографических карт масштабов 1:5 000 000 — 1:2 500 000 по некоторым платформенным территориям мира [10, 11, 12] позволил выявить в их пределах серию овоидно-радиальных структур аналогичного класса. Сочетание при этом двух методов дает возможность утверждать, что отрисовка главнейших элементов этих структур проведена достаточно надежно. Подтверждают этот вывод и данные сопоставления с результатами и интерпретации мелкомасштабных гравиметрических и магнитных съемок, результатами анализа материалов сейсмического зондирования, сопоставления с картами геологического строения территорий. Наблюдаемая конформность геологического строения крупных регионов с выделенными структурами (контурь современных материков на отдельных участках, характер расположения крупных геотектонических элементов и отдельных разновозрастных геологических формаций, плановое положение крупных водотоков и горных цепей) свидетельствует о длительности их существования. Дуговые и радиальные элементы овоидно-радиальных структур, возникнув однажды, затем не раз активизировались в различные геологические эпохи и служили каналами тепломассопереноса, соединяющими мантию, различные горизонты коры и поверхность.

В частности, в пределах Сибирской платформы выделено пять структур такого класса: Ангарская, Вилуйская, Анабарская, Тунгусская и Алданская (рис. 1). Большинство ныне известных здесь участков развития кимберлитоподобных пород с очевидностью тяготеет к хорошо проявленным на мелкомасштабных материалах концентрическим дугам этих образований, а также радиальным линеаментам, составляющим с дугами единые, сложно построенные структуры несомненно глубинного генезиса. Очевиден узловый характер распределения известных тел, образующих скопления площадью десятки и сотни квадратных километров преимущественно в узлах пересечения вышеназванных элементов. Такая позиция при наличии прочих благоприятных

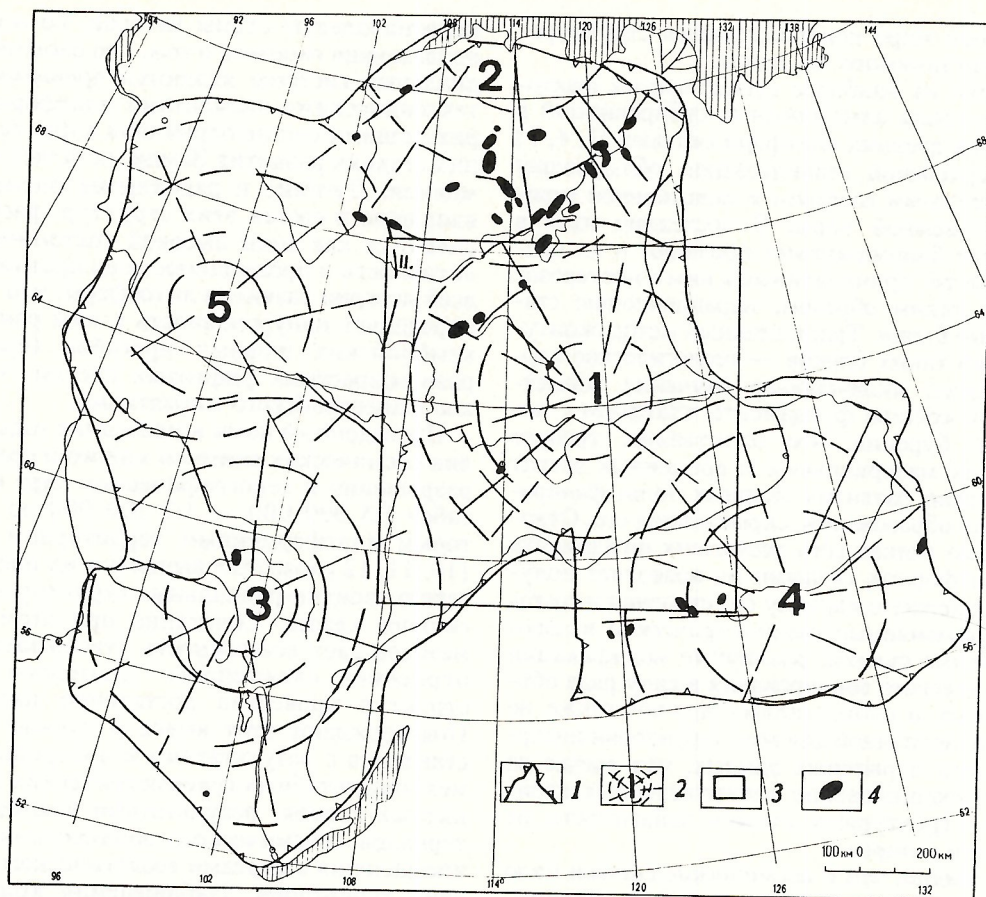


Рис. 1. Схема размещения оvoidно-радиальных структур в пределах Сибирской платформы, по данным анализа космических снимков малого разрешения:

1 — границы Сибирской платформы; 2 — оvoidно-радиальные структуры (1 — Вилуйская, 2 — Анабарская, 3 — Ангарская, 4 — Алданская, 5 — Тунгусская); 3 — контур работ 2-го этапа; 4 — известные кимберлитовые поля

условий (к которым относятся, в первую очередь, линейные структуры, входящие в систему рифтов) указывает на возможность развития достаточно проницаемых каналов для миграции и эволюции мантийных веществ, отвечающих за транспортировку и формирование алмазов. Поэтому проекция структур такого рода на поверхности платформ может рассматриваться как индикатор возможного возникновения алмазоносного таксона в ранге «субпровинция». Очевидно, что степень перспективности различных структур неодинакова и зависит от условий их развития. Последние устанавливаются в ходе общегеологического анализа.

Следующими в ныне принятом иерархическом ряду алмазоносных таксонов являются «зоны» алмазоносных пород. Впервые эмпирически они были выделены в Южной Африке [9] по линейному распределению узловых участков проявления кимберлитов. Значительное количество кимберлитовых полей в этом регионе давало простор фантазии, и варианты трассирования зон многочисленны. Геофизические же съемки лишь фрагментарно подтвердили их существова-

ние, что свидетельствует о ненадежности такого подхода.

Космические снимки в значительной степени более надежны при трассировании зон протяженных разломов, т.к. последние проявляются, как правило, пучками однонаправленных линейных элементов в любых типах ландшафтов. Сложность заключается лишь в ранжировании такого рода зон и выделении наиболее существенных, связанных с глубинными неоднородностями коры и мантии. Среди последних очевидный интерес для нас представляют зоны, связанные с рифтовым структурам, развивающимися снизу и проявляющимися в верхних частях коры зонами линейных дислокаций, авлакогенами. Надежное выделение таких структур возможно лишь при сочетании геофизических, геологических и космических методов. Отметим лишь, что, по нашему мнению, большинство выделяемых ныне алмазоносных «зон» представляют собой фрагменты рифтогенных структур и отдельные фрагменты рассмотренных выше гигантских оvoidно-радиальных образований, активизированных в периоды формирования этих рифтов.

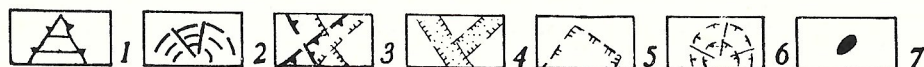


Рис. 2. Схема Вилуйской оvoidно-радиальной структуры, по данным анализа космических съемок малого и среднего разрешения:

1 — граница Сибирской платформы; 2 — элементы, проявляющие Вилуйскую оvoidно-радиальную структуру; 3 — границы рифтогенных структур; 4 — зоны краевых дислокаций рифтогенных структур; 5 — контур анализа снимков среднего разрешения; 6 — радиально-концентрические структуры (1 — Мало-Ботуобинская, 2 — Далдыно-Алакитская, 3 — Среднемархинская); 7 — известные кусты кимберлитов

Следовательно, их выделение как самостоятельных таксонов вряд ли целесообразно.

Неравномерное, как бы гнездообразное распределение кимберлитов на платформах в целом объясняют приуроченностью их к узлам пересечения и сочленения сопоставимых по рангу линейных и дуговых структур глубинного заложения. В таких местах возникают наиболее благоприятные условия для формирования ствольных высокопроницаемых участков, способных спровоцировать внедрение в земную кору мантийных веществ. Признаки такого рода процессов отмечались различными геофизическими и геологическими методами на некоторых известных алмазоносных площадях [3, 4] при традиционных исследованиях.

Проведенный нами анализ космических снимков среднего разрешения на известных алмазоносных площадях мира (Мало-Ботуобинская, Далдыно-Алакитская, Архангельская в России, Орапа, Джваненг, Претория, Кимберли в Южной Африке, Западный и Восточный Кимберли в Северо-Западной Австралии) показал повсеместно наличие в их пределах сложнопостроенных кольцевых структур, оконтуривающих участки развития известных кимберлитов и родственных им пород. Как правило, они не настолько явны, чтобы бросаться в глаза на исходных изображениях, и выявляются лишь при кропотливой фильтрации первичной информации, получаемой при традиционном визуальном и компьютерном дешифрировании, а так-

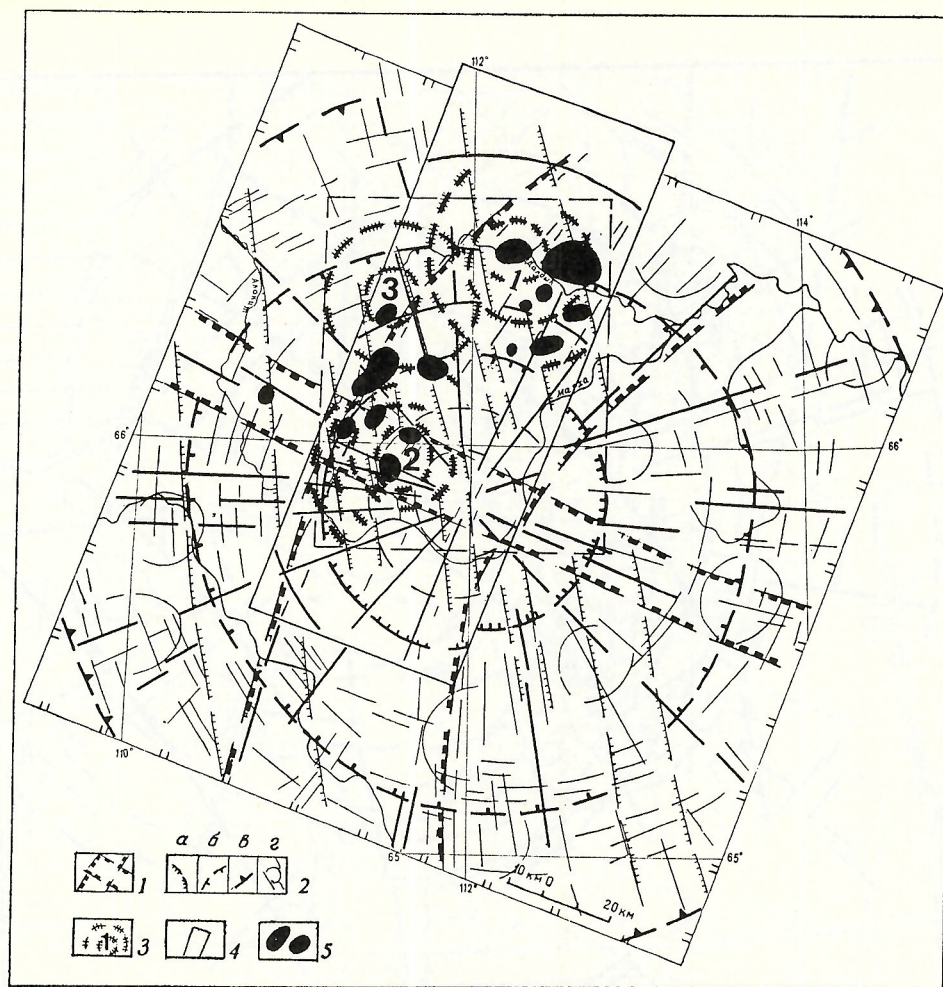


Рис. 3. Схема Далдыно-Алакитской радиально-концентрической структуры, контролирующей алмазоносный район, по данным анализа космических съемок среднего разрешения:

1 — фрагменты Вилуйской овоидно-радиальной структуры; 2 — элементы Далдыно-Алакитской радиально-кольцевой структуры: а — граница ядра, б — граница средней зоны, в — граница внешней зоны, г — прочие осложняющие элементы; 3 — элементы кольцевых структур, выявленных при анализе детальных снимков (1 — Далдынской, 2 — Алакит-Мархинской, 3 — Сытыканской); 4 — контур анализа снимков детального разрешения; 5 — известные скопления кимберлитовых тел

же путем различных преобразований зональных космических снимков на оптико-электронных системах. Сходные размеры и морфология структурных форм, фиксируемые на площадях с разным геологическим строением и ландшафтами, позволяют рассматривать их как обязательный (сквозной) признак таксона в ранге «район», объединяющем в одном контуре обычно несколько полей.

Положение этих структур на платформах вполне закономерно и, как уже упоминалось, определяется узлами пересечения радиальных и дуговых элементов овоидно-радиальных структур, контролирующих субпровинции, и краевых зон дислокаций рифтов. Расположение Далдыно-Алакитской, Мало-Ботуобинской и Среднемархинской радиально-кольцевых структур на фоне Вилуйской овоидно-радиальной структуры показано на рис. 2. Первые две выявлены в пределах промышленно алмазоносных рай-

онов, третья — в новом потенциально алмазоносном районе.

Таким образом, районы кимберлитового магматизма проявляются в материалах обработки данных дешифрирования космических снимков сочетанием радиальных и концентрических линейных элементов, образующих специфическую структуру на поверхности, диаметром 150—250 км. Наиболее надежно эти структуры проявляются при анализе космических снимков среднего разрешения. В большинстве случаев они ведут себя достаточно независимо в отношении современного геологического строения поверхности, хотя элементы конформности в размещении геологических формаций можно обнаружить. Более устойчивые связи наблюдаются при сопоставлении их с картами потенциальных полей и результатами их различных трансформаций. Все это свидетельствует о глубинной природе структур, проявляющейся в основном через следы волнового

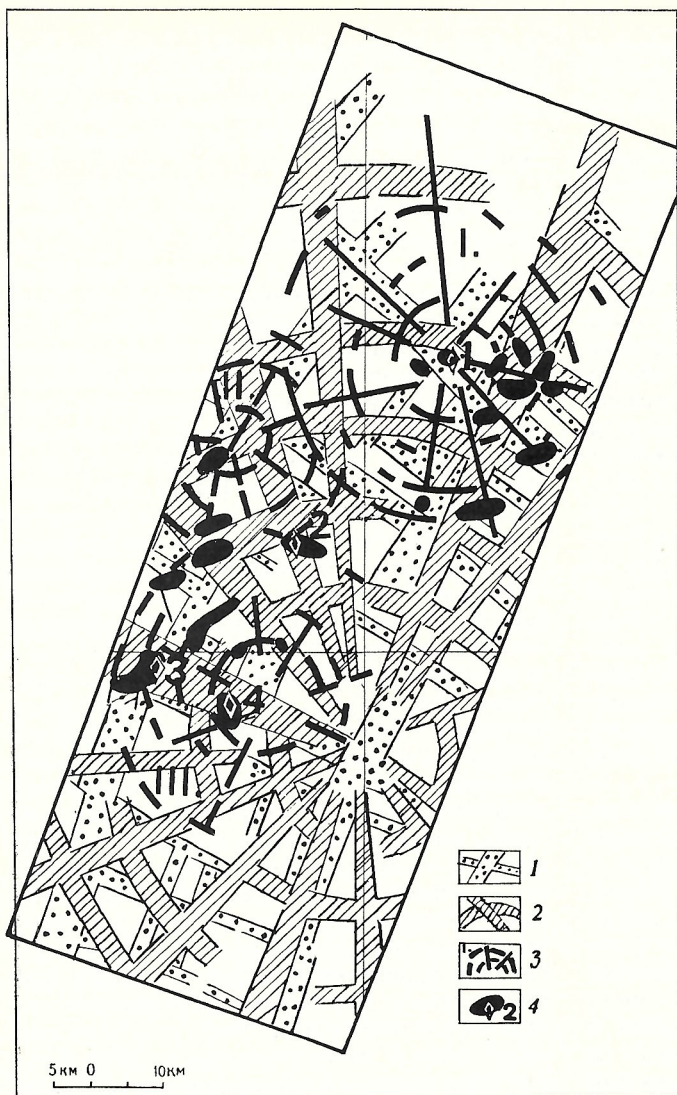


Рис. 4. Схема Алаakit-Мархинской, Далдынской и Сытыканской кольцевых структур, контролирующих алмазоносные поля, по данным анализа космических съемок детального разрешения:

1 — элементы Вилуйской овоидно-радиальной структуры; 2 — элементы Далдыно-Алаkitской радиально-концентрической структуры; 3 — элементы Далдынской (I), Сытыканской (II) и Алаkit-Мархинской (III) кольцевых структур; 4 — скопления известных кимберлитовых тел и некоторые промышленно алмазоносные трубки (1 — Удачная; 2 — Сытыканская; 3 — Юбилейная; 4 — Айхал)

процесса, и, в меньшей мере, через метасоматические и геохимические преобразования выполняющих структуру пород.

Объем связанного с алмазообразованием магматизма обычно ничтожно мал и практически не влияет на структуру и формы залегания вмещающих пород. В центральной части структур (рис. 3, 4) выделяется обычно ядро, диаметром 30—50 км, отличающееся повышенной плотностью микролинеаментов и их изотропным размещением. Окружено оно средней зоной шириной 50—70 км, часто выраженной слабым возвышением в рельефе. За ней следует внешняя зона шириной 60—80 км. Ее границы устанавливаются условно по исчезновению дуговых элементов, изменением фототона. Между собой зоны разделены сгущениями дуговых элементов, а отличаются незначительными вариациями таких параметров, как плотность линеаментов и кольцевых структур, размещение аномалий изотропии и т.д. Анализ ландшафтов свидетельствует о дифференцированном развитии секториальных блоков структур, что подтверждает их активность и в настоящее время. В объ-

еме коры — это конусообразная структура с наклонными к центру и радиальными зонами трещиноватости.

Алмазоносные кимберлиты и родственные им породы в большинстве случаев встречаются в пределах ядра и в средних частях структур, локализуются в узлах пересечения радиальных разломов с крупными дуговыми ограничениями главных зон, т.е. и на этом уровне наблюдается отчетливый структурный контроль мест локализации скопления кимберлитовых тел, приуроченный к наиболее проницаемым участкам структуры.

В силу недостаточной изученности алмазоносных площадей на глубину скважинами (как правило, она не превышает 1—3 км) и геофизическими методами (надежно — десятки километров) большинство генетических рассуждений о природе алмазоносности носит гипотетический характер, подкрепленный лишь теми или иными вещественными данными, полученными при изучении алмазов и вмещающих их пород. Большинство исследователей в настоящее время склоняется к гипотезе о существовании под алмазоносными площадями ман-

тийных диапиров [2, 3, 6], обуславливающих определенный характер структурной и вещественной эволюции этих участков земной коры.

Магматические комплексы центрального типа — типичное проявление активизации древних платформ. Их развитие характеризуется продолжительными амагматичными эпохами покоя и краткими, повторяющимися периодами тектонической активности, в течение которых магматизм проявляется в различных, присущих данному типу земной коры, формах. Структуры, как правило, дискондартны по отношению к вмещающим толщам.

На основе изучения центральных магматических комплексов платформ [13] можно утверждать, что структуры такого рода обладали длительной историей развития (10—100 млн. лет). Впервые они появились более 2 млрд. лет назад, и их образование происходило вплоть до кайнозоя. В настоящее время выделяют до шести эпох образования и активизации магматических комплексов центрального типа: протоактивизационный, позднекембрийский, среднепалеозойский, позднепалеозой-раннемезозойский, мезозойский, кайнозойский. Алмазоносность связана практически со всеми этими периодами.

Удивительная устойчивость размеров радиально-кольцевых структур на всех изученных алмазоносных площадях свидетельствует о схожести условий их формирования. Проявленность в современных ландшафтах свидетельствует о постоянном подновлении кольцевых разломов за счет энергии, поступающей из глубин Земли. Так, кольцевые структуры Восточного Кимберли в Австралии и Претории в Южной Африке фиксируются до сих пор, хотя, как известно, алмазоносный магматизм там проявился в протерозое, а в последующем происходили различные тектонические коллизии, существенно изменившие структурный план территорий.

Понятие «поле» кимберлитового магматизма до сих пор не имеет достаточно убедительного определения. В.А.Милашев [7] формулирует его как «обособленный участок развития кимберлитов, образование которых происходило при близких термодинамических (фациальных) и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне». Многолетние геологоразведочные работы в Якутии так и не выявили естественных геологических границ полей, и дискуссия по этому поводу продолжается, а контуры полей на большинстве схем по-прежнему проводятся по крайним выявленным телам.

Как уже упоминалось, положение скоплений кимберлитовых тел на фоне структур районов достаточно закономерно. Эмпирически установлено, что наиболее часто кусты тел кимберлитов и лампроитов тяготеют к коническим ограничениям ядра и средней зоны радиально-кольцевых структур на их пересечениях с радиальными и дуговыми плоскостями, являющимися составными ча-

стями древних региональных тектонических систем, определяющих строение овоидно-радиальных структур ранга «субпровинций» и возникших, вероятно, до образования диапиров.

На наш взгляд, интерес в качестве поверхностных образований, контролирующих поля развития кимберлитов, представляют кольцевые структуры, диаметром до 50 км, проявленные на снимках среднего разрешения довольно неотчетливо. Обработка данных дешифрирования космических снимков высокого разрешения (масштаб 1:200 000), проведенная на некоторых известных алмазоносных полях (Далдынское, Алакитское, Мирнинское, Золотицкое, Орапа-Летлахане, Джваненг, Претория и т.д.), подтвердила и детализировала выводы, сделанные на основе анализа снимков среднего разрешения. Скопления кимберлитов расположены часто в изометричных, близких к круговым, блоках, обладающих изотропным распределением микролинеаментов и развитием в торцевых ограничениях вытянутых фотовыделов (см. рис. 3, 4). На обработанных методами цветового кодирования снимках иногда отчетливо проступают фрагменты кольцевых структур, диаметром десятки километров. Это дает основания предположить, что одной из форм контроля кимберлитовых и лампроитовых полей также являются кольцевые структуры, обзанные, возможно, своим возникновением промежуточным магматическим очагам в земной коре, глубина залегания которых достигает первых десятков километров. Именно они являются причиной известных участков разуплотнения и размагничивания пород, которые фиксируются геофизическими методами.

В пределах Мало-Ботуобинской площади выявлена (в контуре наличия детальных снимков) одна структура такого рода, пространственно приближенная к центру радиально-кольцевой структуры района. На Далдыно-Алакитской площади обнаружено три структуры — Алакит-Мархинская чуть западнее центра, Сытыканская на северо-западе и Далдынская на севере. Не исключено существование еще структур подобного рода вне контуров наших исследований.

В ряду алмазоносных таксонов кимберлитовые и лампроитовые тела часто имеют форму трубок, хотя повсеместно отмечены также дайки и силлы. На поверхности им отвечают положительные или отрицательные формы современного рельефа, что дает возможность иногда фиксировать тела на детальных космических материалах, а также аэроснимках изометричными аномалиями. Околотрубочные структурные и вещественные изменения, как правило, не превышают более чем в 2—4 раза их размеры и проявлены обычно довольно слабо. При перекрытии трубок более поздними образованиями их визуальное опознание по снимкам затруднено, однако определенные перспекти-

Алмазоносные таксоны	Структурный контроль	Отражение в МКЗ
Провинция	Изометричные блоки земной коры мощностью десятки километров, специфического развития (платформы с докембрийским фундаментом) площадью миллионы квадратных километров	Области равнин с характерными сочетаниями фоторисунков и фототонов
Субпровинция	Участки платформ со специфическим составом фундамента (ядра архейской стабилизации) площадью десятки тысяч квадратных километров	Овоидно-радиальные структуры, диаметром 1200—1400 км
Зона	Внутриплатформенные зоны нарушений земной коры (рифты) протяженностью сотни километров	Протяженные пучки линейamentos, осложненные кольцевыми структурами, диаметром 150—250 км
Район	Пространство над мантийным диапиром площадью тысячи квадратных километров	Радиально-концентрические структуры, диаметром 150—200 км
Поле	Пространство над внутрикоровыми магматическими очагами площадью сотни квадратных километров	Кольцевые и круговые структуры и аномалии сложного строения, диаметром 30—50 км в пределах района
Трубка	Кимберлитовые тела конусовидной формы площадью сотни квадратных метров	Кольцевые и круговые аномалии, диаметром сотни метров

вы видятся в применении тонких преобразований зональной информации, существующий масштаб которой в настоящее время еще недостаточен для решения такого рода задач.

Таким образом, можно сделать вывод, что практически весь таксонометрический ряд алмазоносных площадей в той или иной степени контролируется кольцевыми структурами, обязанными глубинным процессам и определенной организации строения мантии и земной коры (таблица). В сочетании с блоковыми и линейными структурами они определяют либо региональное положение алмазоносных таксонов, либо их внутреннее строение. Выявление соответствующих типов структур является методической задачей конкретных масштабов исследования, а необходимость последовательного выделения вначале региональных, а затем локальных алмазоконтролирующих структур диктуется методикой системного анализа.

«Субпровинции» пространственно совпадают с гигантскими овоидно-радиальными структурами гетерогенного строения и длительного развития, отражающими древние ядра организации земной коры. «Зоны» контролируются сочетанием пучков линейamentos с кольцевыми структурами сопоставимого с их шириной размера (150—200 км), фиксирующими рифтогенные и цепочечно расположенные в их пределах мантийные диапиры. «Районы» отражаются сложнопостроенными кольцевыми структурами «очагового» генезиса, расположенными в узлах пересечения рифтогенов с элементами строения овоидно-радиальных структур и обязанных своим возникновением мантийным диапирам, от которых в земную кору проникли магматические и флюидные отщепления, предопределившие вынос и рост алмазов. «Поля» совпадают с изометричными, часто круговыми блоками, диаметром до 50

км, расположенными, возможно, над внутрикоровыми очагами магматической активизации. Кимберлитовым и лампроитовым трубкам обычно соответствуют тоновые аномалии или кольцевые разломы малого (первые километры и сотни метров) диаметра при их выходе на поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов В.Н., Буш В.А., Глуховский М.З. и др. Взрывные кольцевые структуры континентов Земли. — М.: Недра, 1987.
2. Ваганов В.И., Иванкин П.Ф., Кропоткин П.И. и др. Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ. — М.: Недра, 1985.
3. Ваганов В.И., Варламов В.А., Фельдман А.А. Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. — М.: ЦНИГРИ, 1989.
4. Глуховский М.З., Кац Я.Г. Кольцевые структуры Земли. — М.: Недра, 1983.
5. Натанов Л.М., Осташкин И.М., Музис В.А. Дистанционные методы прогнозирования и поиски кимберлитов //Разведка и охрана недр. 1982. № 1. С. 26—28.
6. Маракушев А.А. Геодинамические режимы образования алмаза //Бюлл. Московского об-ва испытателей природы. 1993. Т. 68. С. 12—18.
7. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. — Л.: Недра, 1979.
8. Моралев М.М., Глуховский М.З. Кольцевые структуры докембрийских щитов по данным дешифрирования космических снимков //Исследования Земли из космоса. 1981. № 3. С. 8—22.
9. Митчел А., Гарсон М. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. — М.: Мир, 1984.
10. Серокуров Ю.Н., Мельникова Н.Д., Калмыков В.Д., Фомичева Н.И. Особенности выявления Зимнебережной алмазоносной площади по результатам дешифрирования космических снимков //Геология и разведка. 1992. № 4. С. 54—61.
11. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Факторы контроля провинций, субпровинций и районов проявления алмазоносных пород //Отечественная геология. 1994. № 1. С. 3—8.
12. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Смирнова Л.С. Перспективы алмазоносности Ботсваны //Геология и геофизика. 1993. № 1. Т. 36. С. 57—64.
13. Томсон И.Н. Металлогения рудных районов. — М.: Недра, 1988.

Благороднометалльная минерализация и алмазоносность щелочных комплексов Карело-Кольского региона

Е.В.ПУТИНЦЕВА, В.В.ИВАНИКОВ, Н.Б.ФИЛИППОВ, В.А.БОГАЧЕВ (ГСФ «Минерал», Санкт-Петербургский государственный университет)

Благороднометалльная минерализация и алмазоносность — относительно новые аспекты минерагении щелочных комплексов восточной части Балтийского щита. Как известно, щелочной магматизм проявлен здесь мощно и разнообразно в широком временном диапазоне, играя важную роль в развитии минерально-сырьевой базы региона.

Проблему обнаружения коренных источников алмазов на данной территории пытались решать давно, но лишь сравнительно недавно алмазы были найдены в кимберлитах юга Кольского п-ова, в лампроитах — Западной Карелии, а также на сопредельных территориях — в Архангельской области и Финляндии. Относительно платиноносности щелочных комплексов региона до последнего времени существовали отрицательные заключения. Однако новые данные, в т. ч. находки платиноидов, сделанные авторами в 1994 г. в фоскорит-карбонатитовых образованиях Ковдорского щелочного ультрамафитового массива, позволяют положительно оценить эти комплексы на благороднометалльное оруденение.

В природе пространственная, а по мнению авторов, и генетическая связь благородных металлов и алмазов проявляются в их совместном нахождении. Примером служат находки алмазов в платиновых россыпях массивов Туламин (Канада), Гудньюс Бэй (Аляска), Корякии, а платины — в алмазных россыпях Бразилии и Калимантана. Размещение многих платиноносных массивов и алмазоносных тел контролируется одними и теми же глубинными структурами (Южная Африка, Канада). При этом мантийные источники ЭПГ и алмазов доказываются и признаются в настоящее время большинством исследователей.

Если платиноносность щелочных пород связана в основном с их плутоническими фациями, то алмазы приурочены к диатремово-дайковым проявлениям, хотя известны единичные находки алмазов в щелочных массивах Скандинавии и Кольского п-ова. В дайковых же производных щелочных ультрамафитовых магм — пикритах, лампроитах, а также в меланефелинитах нередко отмечаются повышенные содержания ЭПГ и золота, в т. ч. и на Кольском п-ове [3]. С точки зрения авторов, взаимосвязь благороднометалльной минерализации и алмазоносности щелочных комплексов опосредованно проявляется в закономерном размещении разнотипных и разнофациальных проявлений щелочного магматизма. Модель упорядоченного размещения таких комплексов различной специализации

применительно к региону может быть использована как элемент прогнозирования для поисков связанных с ними благородных металлов и алмазов.

Типизация и корреляция щелочных комплексов региона в связи с их благороднометалльной минерализацией и алмазоносностью. На основании обобщения данных по изучению щелочных комплексов региона авторами составлена схема их типизации и корреляции для дальнейшего использования при минерагеническом анализе. В таблице приведен ее вариант для палеозойского магматизма.

Среди щелочных интрузивных комплексов региона традиционно выделялись три формационных типа: щелочных габброидов и нефелиновых сиенитов; ультраосновных — щелочных пород с карбонатитами; агпайтовых нефелиновых сиенитов [10]. Как показывает мировой опыт изучения платиноносности щелочных комплексов, наиболее перспективен на данный вид минерального сырья второй из них. Плутоны этого типа характеризуются, как известно, сложным многофазным строением и в связи с этим — различными рудно-формационными типами платинометалльного оруденения. Это вызывает необходимость более детальной типизации широко проявленных в регионе ультраосновных — щелочных комплексов.

Авторы предлагают подразделять их на полнопроявленные ультрамафит-фоидолитовые с карбонатитами (Ковдор, Вуориярви, Себьявр, Турьего мыса), преимущественно ультрамафитовые (Африканда, Лесная варака, Песочный), преимущественно фоидолитовые с карбонатитами (Салланлатва) или без них (губы Ивановской, Маврагубский, Озерная варака, Ковдозерский, Ийвара). Особое место среди карбонатитовых плутонов Кольской щелочной провинции занимает крупный массив Соколи на сопредельной территории (Финляндия), целиком сложенный карбонатитами и фоскоритами [24].

Нефелиновые сиениты в массивах этого формационного типа играют резко подчиненную роль и проявлены обычно лишь в образованиях жильной свиты и в сателлитах. Недавно на Кольском п-ове близ г. Кандалакша был открыт новый массив — Кандагубский, сложенный фоидолитами, нефелиновыми сиенитами и карбонатитами. Сиениты составляют около одной трети площади массива, диаметром приблизительно 2 км. Соотношение пород, характеристика их составов позволяют предполагать генезис щелочных сиенитов в результате кристал-

Схема корреляции палеозойских щелочных комплексов

Возраст	Хибинско-Контозерская рифтогенная зона	Кандалакшская зона глубинных разломов трансформного типа	Сопряженные активизированные разломы
C ₁₋₂	Щелочных вулканитов: пикриты, мелилититы, нефелиниты, карбонатиты Контозерский		
C ₁ — D ₂₋₃	Диатремово-дайковые: пикрит-карбонатитовый, базанит-нефелинит-фонолитовый Фоидолитов-фоидосиенитов (полиформационный) Фоидолитовый Хибинский Ловозерский Контозерский Ковдозерский, Озерная варака Губы Ивановской Ийвара	Диатремово-дайковые: пикрит-мелилитит-нефелинит-карбонатитовый, нефелинит-фонолит-карбонатитовый, кимберлитовый Фоидолит-фоидосиенит-карбонатитовый Полнопроявленный ультрамафит-фоидолит-карбонатитовый Кандалакшский Карбонатитовый Сокли Ковдор Туринский мыс	Магматический разлом Фоидолитовый Ультрамафитовый Полнопроявленный ультрамафит-фоидолит-карбонатитовый Фоидолит-карбонатитовый Маврогубский Салмагора Африканда Лесная варака Ингозерский Песочный Себляяр Вуорияр-ви Салланлатва
D ₁₋₂	Щелочных вулканитов: пикриты, базаниты, трахиты; фонолиты, щелочные трахиты Ловозерский Губы Ивановской Кургинский		
Є—V		Диатремово-дайковые: пикрит-альнеит-карбонатитовый, кимберлитовый (?)	

лизационной дифференциации из нефелинитового материнского расплава. Отсюда вытекает необходимость в выделении еще одного вида карбонатитовых комплексов — фоидолит-фоидосиенитового [17].

Данные о соотношении ультрамафит-фоидолитовой и сиенитовой составляющих в разнофациальных щелочных комплексах Карело-Кольского и других регионов свидетельствуют о том, что эта проблема достаточно сложна. При ее рассмотрении авторы разделяют существующую точку зрения о возможной полиформационности (полиочаговости) подобных комплексов [1].

Попытка более детальной типизации щелочных массивов для прогноза потенциальной золото-платиноносности показала, что традиционное их разделение на три формационные группы достаточно условно. Вследствие сложных корпоративных процессов магмогенерации и магматической эволюции, по-видимому, в каждом конкретном случае имеет место различная доля вкладов разнотипных и разномасштабных вы-

плавов из единого субстрата. Так, в строении щелочных массивов могут участвовать производные щелочно-пикритовых, оливин-мелилитовых, меланефелинитовых, нефелинитовых, фонолитовых расплавов, их карбонатитовых ликвационных отщеплений. С точки зрения перспектив благороднометалльной минерализации, наибольший интерес, естественно, будут представлять интрузивы, в строении которых значимыми являются производные наиболее глубинных выплавов. Немаловажную роль при этом будет играть специфика флюидного режима. Массивы же с проявленной полиформационной природой, особенно с преобладающими в составе продуктами менее глубинных нефелинит-фонолитовых магм, наименее перспективны относительно благородной минерализации.

Исходя из предложенной трактовки взаимосвязи благороднометалльной минерализации и алмазности щелочных комплексов региона, в схему корреляции включены все их фациальные разновидности:

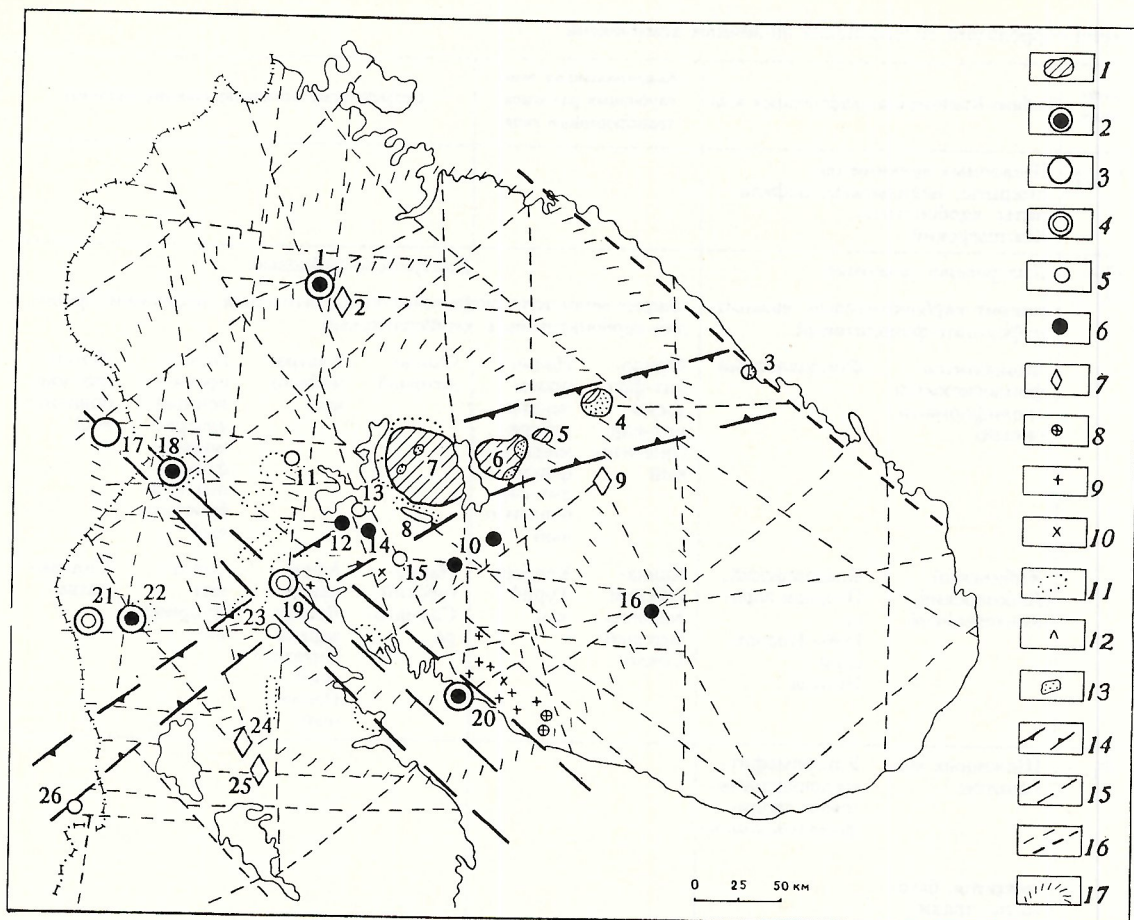


Рис. 1. Схема размещения щелочных комплексов Кольского п-ова и Северной Карелии.

Щелочные массивы. Палеозой: 1 — фойдолит-фойдосиенитовые; ультрамафит-фойдолит-карбонатитовые: 2 — полнопроявленные, 3 — карбонатитовые, 4 — фойдолит-(сиенит)—карбонатитовые, 5 — фойдолитовые, 6 — ультрамафитовые. **Поздний протерозой:** 7 — щелочно-габброидные (1 — Себлявр, 2 — Гремяха-Вырмес, 3 — губы Ивановской, 4 — Контозерский, 5 — Курга, 6 — Ловозеро, 7 — Хибинь, 8 — Соустова, 9 — Сахарйок, 10 — Ингозерские, 11 — Маврагуба, 12 — Африканда, 13 — Озерная варака, 14 — Лесная варака, 15 — Салмагора, 16 — р. Песочная, 17 — Сокли, 18 — Ковдор, 19 — Кандагубский, 20 — Турьего мыса, 21 — Салланлатва, 22 — Вуориярви, 23 — Ковдозерский, 24 — Тикшозеро, 25 — Елетьозеро, 26 — Ййвара). **Диатремово-дайки и вулканические щелочные комплексы, PZ:** трубки взрыва: 8 — слюдяных кимберлитов, 9 — пикритов, мелилититов, 10 — мелафойдитов; 11 — рои даек щелочных пород; 12 — дайки минетт, R; 13 — щелочные вулканы; 14 — Хибинь-Контозерская рифтогенная зона; 15 — Кандалакшская зона глубинных разломов; 16 — глубинные разломы; 17 — кольцевые зоны повышенной проницаемости

интрузивные, вулканические и диатремово-дайки. Необходимо отметить, что среди вулкаников и диатремово-дайки образований также выделяются полигенные комплексы, что служит своеобразным отражением полиформационности плутонов. Примером полигенности щелочных вулкаников, по мнению авторов, служит предваряющий главную вспышку позднепалеозойского щелочного магматизма на Кольском п-ове ловозерский комплекс, включающий производные щелочно-базальтовой и щелочной—ультраосновной магм. Полиформационными являются также дайковые комплексы (хибинский, кандалакшский) [1, 4]. В предложенной схеме корреляции терский кимберлитовый и меланонефелинит-мелилититовый диатремовые комплексы вслед за М.М.Калинкиным и др. [7] разделены. Однако, учитывая их тесную пространствен-

ную и временную связь, не следует исключать, что это единая полиочаговая ассоциация пород — производных сближенных в пространстве разноглубинных выплавок, продуцируемых единым источником возбуждения.

Эволюция щелочного магматизма региона. Эпохи щелочного магматизма восточной части Балтийского щита в целом синхронны с проявлениями щелочного магматизма всей Северо-Атлантической провинции. Это прослеживается уже для протерозойских комплексов, однако, более отчетливо выражено для палеозойских. Принято считать, что щелочной магматизм и его эволюция увязываются с определенной степенью зрелости коры, являясь репером континентальных рифтогенных режимов. При рассмотрении тектонической позиции палеозойских щелочных комплексов авторы придерживаются модели

Р.Дойга [21], трактующей их размещение с позиции тектоники плит.

В соответствии с этой моделью, раннепалеозойская эпоха щелочного магматизма приблизительно совпадает с расколом древней Пангеи, раскрытием океана Япетус и палеоокеана, пассивная окраина которого наблюдается вдоль Баренцевоморского побережья Кольского п-ова. В результате этих процессов возникла сложная система глубинных разломов, включающих линейменты, субпараллельные и трансформные по отношению к осям палеорифтов и опоряющие их диагональные структуры. Возобновление рифтогенных процессов в позднем палеозое, после каледонской орогении, обусловило новую вспышку щелочного магматизма. При этом были активизированы древние и заложены новые зоны глубинных разломов, в т. ч. в форланде подвижного пояса. Типичные элементы этой сложной долгоживущей системы пронизаемых тектонических зон — Кандалакшская и Хибинско-Контозерская, определившие размещение большей части щелочных комплексов Кольского п-ова и Северной Карелии (рис. 1). Кандалакшская зона глубинных разломов заложилась в рифее, являясь частью крупного Беломорского рифта. В палеозое она, по крайней мере, трижды испытывала тектоно-магматическую активизацию [4]. Палеозойская Хибинско-Контозерская зона является частью крупной тектонической структуры северо-восточного направления [5].

Эволюция щелочного магматизма восточной части Балтийского щита неоднократно освещалась в литературе [9, 12]. Раннепротерозойский магматизм представлен массивами щелочных габброидов и сиенитов с сопутствующими ультрамафитами, фойдолитами и карбонатитами (Сахарйок, Гремяха-Вырмес, Елетьозерский, Тикшеозерский) и щелочными гранитами. Возраст их складывается в интервале 1,8—2,5 млрд. лет, указывая на два этапа щелочной плутонической активности в раннем протерозое. К этой группе можно условно отнести умеренно щелочной пироксенит-габбро-монцонит-сиенитовый интрузивный комплекс Приладожья, который сопровождается eruptивными брекчиями и дайками лампрофиров.

Раннепротерозойские щелочные комплексы Карело-Кольского региона являются полигенными и, возможно, полихронными. Характерной особенностью, во многом определившей их металлогенетический потенциал, служит ведущая роль габброидов в составе интрузивов. Необходимо отметить, что для раннепротерозойских щелочных массивов устанавливается отчетливое тяготение к раннепротерозойским рифтогенным структурам, контролирующим размещение разноформационного платинометалльного оруденения.

Позднепротерозойский (рифейский) щелочной магматизм представлен относитель-

но незначительными по объему выплавок лампроитовым (Костомукша, Ветренный пояс) и щелочным лампрофировым (Порья губа) дайковыми комплексами. Их диспозиция связана в большинстве своем с формированием рифейских авлакогенов Восточно-Европейской платформы. Примечательно, что проявления данного типа дайкового магматизма калиевой специализации сосредоточены в областях влияния Лапландско-Колвицкой и Свекофенской палеозон субдукции. Не исключено, что эколгитизированные и метасоматизированные фрагменты раннедокембрийской океанической коры являются источниками части алмазов этих пород.

Раннепалеозойский щелочной магматизм, в отличие от Западной Фенноскандии, маломасштабен и представлен пикрит-альнеит-карбонатитовым диатремово-дайковым комплексом. Следует отметить, что, по мнению ряда исследователей, формирование плутонического «каледонского» комплекса пород, а именно их начальных ультрамафических фаз, возможно, началось уже в раннем палеозое [4, 5]. Пиком же щелочного магматизма региона, причем разнофациального — вулканического, интрузивного, дайкового — ознаменован средний—поздний девон. На этот период приходится новая фаза рифтогенеза Восточно-Европейской платформы, совпадающая [13] с окончанием каледонской и началом герцинской орогении.

Консолидация и возрастание жесткости коры в фанерозое в целом обусловили появление «секущих» по отношению к основным структурам докембрия направлений разломов, контролирующих размещение щелочных комплексов. Генерацию щелочных магм и упорядоченное проявление производных цикла некоторые авторы связывают с мощным энергетическим возбуждением литосферы с эпицентром в районе Хибинского массива, т.е. с действием «горячей точки» [2, 14]. С моделью «горячей точки» хорошо согласуется существование кольцевых зон повышенной проницаемости, своего рода «инъективных дислокаций» вокруг Хибинского и Ловозерского массивов, которые были выделены и охарактеризованы ранее [2]. С этой гипотезой перекликается идея О.Б.Дудкина и Ф.П.Митрофанова [5] о том, что мантийный диапиризм с центром в районе Хибин и Ловозера мог быть причиной палеозойского рифтогенеза, который не получил дальнейшего развития из-за вращения крупных блоков докембрийской литосферы, сочленяющихся в этом месте.

Несмотря на дискуссионность и недостаточную разработанность этой тектоно-магматической модели, она представляется достаточно перспективной при рассмотрении закономерностей разрешения различных по составу, масштабам и формам проявления щелочных комплексов. Так, максимальное развитие интрузивных комплексов с доминирующими фойдосиенитовыми фазами, а

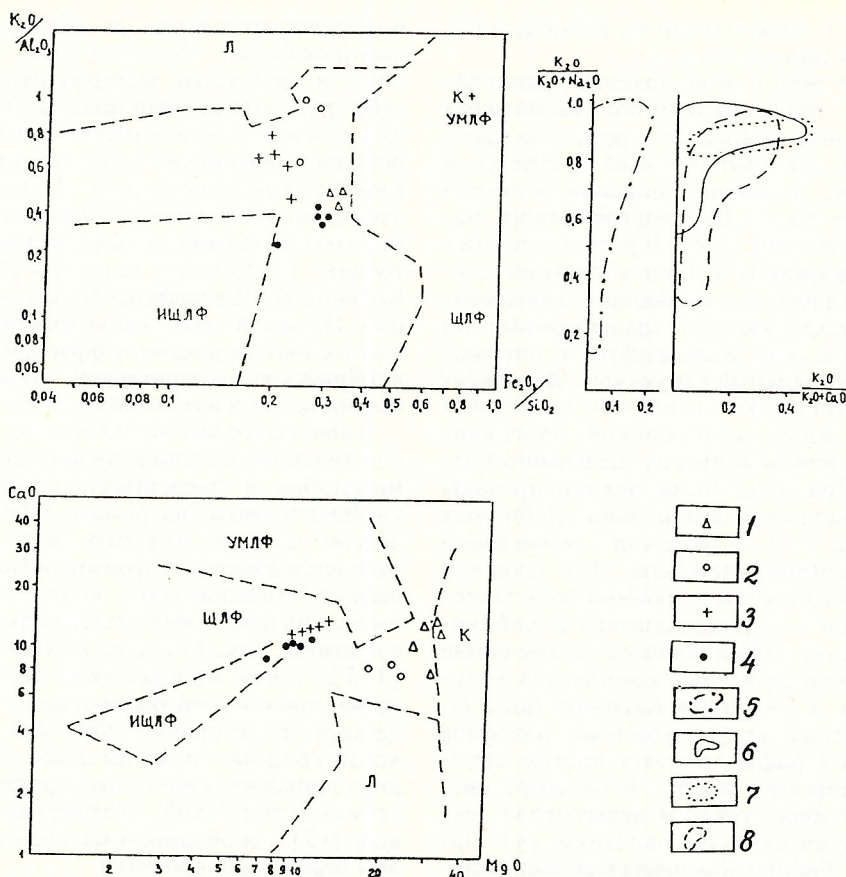


Рис. 2. Петрохимические особенности алмазонасных пород региона:

фигуративные точки: 1 — кимберлитов Терского берега, 2 — лампроитов Западной Карелии, 3 — известково-щелочных лампрофиров Порьей губы, 4 — то же, Приладожья; фигуративные поля: 5 — кимберлитов с «кимберлитовым трендом развития»; пород с «лампроитовым трендом развития»; 6 — кимберлитов, 7 — кимберлитов Терского берега, 8 — кимберлитов Зимнего берега; Л — лампроитов, К — кимберлитов; УМЛФ — лампрофиров ультрамафитовых, ИШЛФ — то же, известково-щелочных, ИЗЛ — то же; 5, 6 — по В.И.Ваганову, 1986; после 8 — по М.Року, 1990

также вулканитов наблюдается в центре системы, тогда как полнопроявленные ультрамафит-фойдолит-карбонатитовые плутоны и ультрамафитовые дайковые серии, в т. ч. кимберлитовые, — в ее периферии.

Алмазонасность щелочных комплексов региона. В настоящее время достоверно установлена коренная алмазонасность слюдяных кимберлитов Терского берега (трубка Ермаковская-7) и лампроитов Западной Карелии (Костомукшское поле). Кроме того, имеются сообщения о находках алмазов в лампрофироподобных породах элисенварского комплекса [20]. Алмазонасные породы региона описаны в серии специальных работ [7, 15, 16].

Алмазонасные породы региона обладают в целом нетипичными петрохимическими характеристиками по сравнению с классическими аналогами. На диаграммах Рока [20] (рис. 2) кимберлиты Терского берега, лампроиты Костомукши и гипабиссальные породы «невоит-ладогитовой серии», по Р.А.Хазову, не попадают в поля составов кимберлитов и лампроитов, а на диаграмме В.И.Ваганова терскобережные кимберлиты

обнаруживают отчетливую тенденцию к лампроитовому тренду развития. Казалось бы, эти данные свидетельствуют не в пользу перспектив потенциальной алмазонасности объектов восточной части Балтийского щита.

Однако следует учитывать, что на определенной территории Зимнего берега (Архангельская область) кимберлиты, которые также отличаются от «классических» некоторыми особенностями (повышенная магнезиальность, превалирующая среди акцессориев роль шпинелидов), являются высокоалмазонасными. Этот факт говорит о том, что перечень продуктивных пород имеет тенденцию к пополнению нетрадиционными видами, как в свое время — лампроитами и т.д. Следовательно, при оценке потенциальной алмазонасности пород необходимо ориентироваться не только на особенности их составов, но и учитывать минералого-геохимические и петрологические критерии, базирующиеся на прецизионных аналитических методах и вскрывающие их связь с мантийными алмазонасными источниками. К сожалению, пока подобной высококачественной информации явно недостаточно.

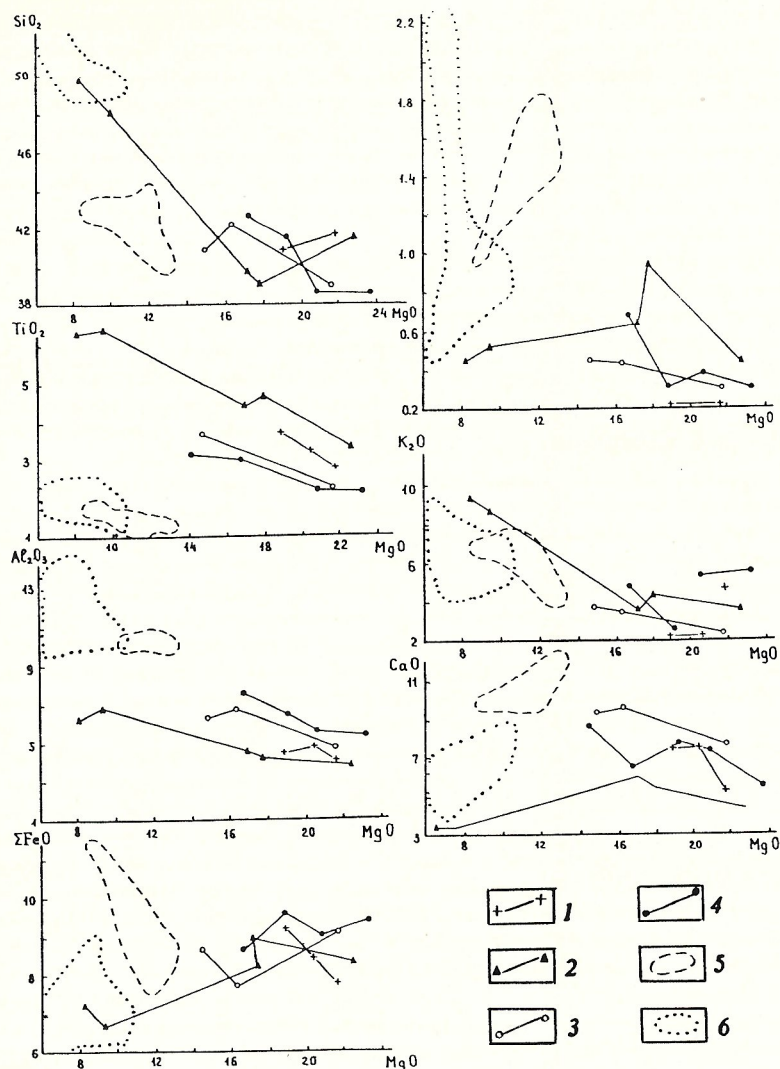


Рис. 3. Петрохимические диаграммы лампроитов и калиевых лампрофиров:

1 — Аргайл; 2 — Эллендейл; 3 — Костомукша; 4 — Таловейс; 5 — К-лампрофиты Порьей губы; 6 — минитеты (данные по лампроитам Западной Австралии и минитетам взяты из работы [23])

По мнению авторов, среди выявленных алмазоносных пород Карело-Кольского региона наиболее перспективны лампроиты Западной Карелии, которые обнаруживают значительное сходство с лампроитами Западного Кимберли (Австралия) как на породном (рис. 3), так и на минеральном уровне.

Породы Порьей губы (Кольский п-ов), ранее относимые к калишпатовым лампроитам [18], следует, по-видимому, рассматривать как известково-щелочные лампроиты минеттового ряда. С точки зрения алмазоносности они не представляют интереса. Следует отметить значительное сходство с порьегубскими лампрофитами приладожских калиевых ультрамафит-мафитов и лампрофиров.

Благороднометалльная минерализация щелочных комплексов региона. Авторы положительно оценивают перспективы платинометалльного оруденения в связи с интрузивными щелочными комплексами Карело-Кольского региона. Основанием для подобных оценок является наличие среди щелочных массивов региона довольно близких аналогов всех типов щелочных плутонов,

несущих платинометалльное оруденение в других провинциях, а главное, прямых признаков присутствия ЭПГ в различных породах щелочных комплексов Кольского п-ова и Северной Карелии.

Необходимо отметить, что щелочные комплексы с платинометалльной минерализацией имеют россыпеобразующее значение. Связанные с ними россыпи являются крупными промышленными объектами добычи ЭПГ. При этом в щелочных комплексах пока не установлено ни одного собственно платинометалльного месторождения. Как правило, наблюдается попутная ЭПГ-минерализация в хромитовых, титаномagnetитовых, магнетитовых, сульфидных, редкометалльных (в карбонатах) рудах. Поэтому поисковый интерес среди щелочных комплексов региона представляют в первую очередь массивы с уже известными месторождениями или проявлениями перечисленного типа.

Как показал опыт изучения различных рудно-формационных платинометалльных объектов, промышленные концентрации ЭПГ возникают в различных геологических обстановках в широком диапазоне PT -пара-

метров. Примером может служить и благороднометалльная минерализация в щелочных комплексах [11]. Однако, если ранее при оценке платиноносности в составе этих сложных многофазных комплексов внимание привлекали главным образом ультрамафиты (дуниты, оливиниты, перидотиты, пироксениты), то теперь минерализация обнаружена и в других породных группах. В целом рудно-формационные типы платино-металльного оруденения включают: платиноидно-хромит-дунитовый; платиноидно-титаномagnetит-ультрамафитовый; золото-платиноидно-сульфидновкрапленный в щелочных породах и метасоматитах по ним; серебро-золото-платиноидно-сульфидно-вкрапленный в фоскоритах и карбонатах.

Платиноидно-хромит-дунитовый тип. Как известно, в интрузиях центрального типа региона хромитовые дуниты отсутствуют, что долгое время служило основанием для скептического отношения к их перспективам. Однако необходимо отметить, что повышенное содержание хрома установлено в оливинитах Лесной варакы (0,47—0,64 % Cr_2O_3) [9], Тикшеозерского (0,2 %) и Ковдорского (0,42 %) массивов. Вероятно, концентрация хрома на ранних этапах формирования щелочно-ультраосновных комплексов могла происходить, минуя стадию кристаллизации хромита, в других минеральных фазах, а именно — в оливине, клинопироксене, шпинелидах.

Среди интрузивов региона оруденение данного типа, скорее всего, можно ожидать в Тикшеозерском массиве, что подтверждается данными о повышенных содержаниях ЭПГ (до 0,4 г/т) в оливинитах массива (Клюнин, 1987). Н.С.Рудашевским [18] также дается положительная оценка перспектив россыпной платиноносности в связи с Тикшеозерским массивом.

Платиноидно-титаномagnetит-ультрамафитовый тип. Титаномagnetитовое оруденение щелочных комплексов региона можно подразделить на несколько подтипов: в связи с титаномagnetитовыми оливинитами; перовскит-титаномagnetитовыми пироксенитами; апатит-ильменит-титаномagnetитовой перидотит-габбро-анортитовой серией пород. Первые два подтипа относятся к палеозойским щелочным комплексам. Рудные оливиниты проявлены в массивах Ковдор, Лесная варака. В них, по данным Л.С.Бородина и др. [3], отмечены содержания ЭПГ до 0,42 г/т. Месторождение перовскит-титаномagnetитовых руд известно в массиве Африканда в связи с оливинитами и главным образом пироксенитами. Рудопроявление титаномagnetита с перовскитом разведано на Вуориярвинском массиве.

Апатит-ильменит-титаномagnetитовое оруденение в расслоенных сериях локализуется исключительно в раннепротерозойских щелочно-габброидных плутонах (Гремяха-Вырмес, Елетьозерский и Тикшеозерский

массивы). По характеру расслоенности эти объекты весьма напоминают расслоенные платиноносные комплексы. Однако платиноидное оруденение здесь можно, скорее всего, ожидать в связи с титаномagnetитовыми рудами, т.к. значимых содержаний хрома или сульфидов в расслоенных сериях пока не выявлено. Особое внимание среди пород привлекают пегматоидные разновидности, связанные с кристаллизацией обогащенных флюидами остаточных порций расплавов. Подобная минерализация установлена в комплексах Алдана [11] и Канады, в частности в массиве Колдуэлл [25].

Золото-платиноидно-сульфидновкрапленный тип в щелочных породах и метасоматитах по ним. Данный нетрадиционный тип выделяется нами в качестве самостоятельного рудно-формационного с определенной долей условности. Он известен на Алдане в массиве р. Рябиновая. Золото-платинометалльное оруденение приурочено здесь к пуласкитам и апопуласкитам. Подвергшиеся мусковит-калишпатовому метасоматозу породы формируют штокообразное тело с золотосульфидно-меднопорфировым типом оруденения, сопровождающимся ЭПГ-минерализацией. Из минералов платиновой группы здесь установлены мончеит, эрлихманит и др. Содержание платины и палладия изменяется от 150 до 350 мг/т, максимальное содержание платины (900 мг/т) выявлено в борнитовом концентрате [8].

Продукты интенсивного метасоматоза, а именно биотитизации, серицитизации, калишпатизации, сопровождающиеся выделением сульфидов, выявлены в габбросиенитах и сиенитах массива Гремяха-Вырмес. Они в первую очередь заслуживают оценки перспектив на данный тип оруденения.

Существование платинометалльной минерализации, непосредственно связанной с процессами метасоматоза в щелочных комплексах, еще раз подчеркивает существенную роль этих процессов в концентрации ЭПГ, отмечаемую также для ведущих формационно-генетических типов рассматриваемого оруденения. Так, Н.С.Рудашевским [18] основной парагенезис МПГ в щелочных ультрамафитах (сульфидно-железоплатиновый) трактуется как вторичный, возникший в результате преобразования высокотемпературной (1400°C) бедной железом платины при температуре 600—800°C под воздействием резко восстановленного флюида. Эта модель, по его мнению, объясняет присутствие в ультрамафитах и, как следует из дальнейшего изучения, в последующих фазах массивов, содержащих МПГ, самородного золота, серебра, меди, цинка, олова, свинца, сурьмы, висмута, теллура, поступающих в расплав в форме летучих соединений. Аналогичная ассоциация этих элементов устанавливается в вулканических газах и современных гидротермах СОХ.

Серебро-золото-платиноидно-сульфид-

новкрапленный тип в фоскоритах и карбонатитах. Данный рудно-формационный тип платинометалльного оруденения традиционно относится к разряду экзотических. Он известен только в массиве Палабора (ЮАР). Однако авторами отстаивается точка зрения о закономерном появлении платинометалльного оруденения в фоскоритах и карбонатитах щелочных комплексов. В качестве основных доводов привлекаются следующие.

Во-первых, карбонатитовая магма является продуктом ликвационного отщепления от материнского щелочно-ультраосновного расплава, потенциально обогащенного ЭПГ. Согласно полученным данным о распределении ряда редких элементов и золота в карбонатитах и конъюгативных щелочных силикатных породах, золото преимущественно переходит в карбонатитовую фракцию. Сведениями о распределении платиноидов авторы пока не располагают, однако, учитывая подтверждающуюся в настоящее время многочисленными примерами тесную корреляцию этих элементов при рудогенезе, естественно ожидать сходного поведения части платиноидов, а именно легкоплавких, в данном процессе.

Во-вторых, карбонатитовый расплав — чрезвычайно флюидонасыщенная система, характеризующаяся преимущественно восстановительным режимом. Как известно, эти факторы весьма благоприятны для концентрации ЭПГ.

В-третьих, для фоскорит-карбонатитовых комплексов закономерно обогащение сульфидными поздними анкерит-доломитовых карбонатитов, вплоть до промышленных концентраций. Примерами, помимо массива Палабора, служит Белозиминский массив (Восточные Саяны), а также Себлявский на Кольском п-ове. Сульфидная же минерализация — один из главных спутников платинометалльной.

И ранее существовали свидетельства возможного проявления в регионе палаборского типа оруденения. Среди них в первую очередь нужно отметить данные Ю.Л.Капустина с соавторами (1992), демонстрирующие увеличение с глубиной роли доломитовых карбонатитов на Ковдорском комплексном жерезорудном месторождении и возрастание содержания в них сульфидов, в т.ч. халькопирита. В халькопиритовом концентрате из карбонатитов и руд этими исследователями установлены высокие концентрации золота, достигающие 90 г/т. Другие данные о проявлении благородной минерализации в карбонатитах и фоскоритах Кольского п-ова приведены в работе [6].

Наибольшим сходством с фоскорит-карбонатитовым комплексом Палаборы обладает фоскорит-карбонатитовый комплекс Ковдора [14], служащий источником крупной промышленной добычи магнетитового, апатитового и бадделитового концентратов.

Авторами совместно с Н.И.Красновой в 1994 г. были опробованы сульфидсодержащие разности карбонатитов и фоскоритов Ковдорского массива. Атомно-абсорбционный анализ, выполненный в ЦНИГРИ, показал достаточно высокие концентрации платиноидов и серебра во всех пробах, а наиболее обогащенными этими металлами оказались кальцит-тетраферрифлогопит-магнетитовые редкометалльные руды, содержащие 2,2 г/т платиноидов.

Н.С.Рудашевский и В.В.Кнауф в редкометалльных рудах и сульфидном концентрате установили наличие разнообразных минералов платиновой группы, а также минералов золота и серебра [19].

Роль щелочного магматизма в формировании месторождений платиноидов и алмазов известна. Как показывают приведенные в статье данные, восточная часть Балтийского щита не является в этом отношении исключением. Однако взаимосвязь петрологических процессов и структурно-тектонических факторов, ответственных за появление благороднометалльной минерализации и алмазов в щелочных комплексах, пока не достаточно раскрыта. На примере Кольской щелочной провинции авторами сделана попытка трактовки закономерностей расположения полихронных, генетически разнотипных и разнофациальных щелочных комплексов на структурно-тектонической основе.

Ведущая роль в контроле щелочного магматизма отводится процессам континентального рифтогенеза. Возникающая в результате процессов возбуждения литосферы и астеносферы система напряжений обуславливает разноглубинность проникаемых зон, контролирующих размещение различных типов щелочных комплексов с присущими им вариациями металлогенического потенциала. Предложенная модель закономерностей локализации производных щелочного магматизма может служить основой для прогнозирования месторождений благородных металлов и алмазов Карело-Кольского региона и сопредельных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасцев А.А., Иванова Т.Н. Минералого-геохимические признаки полиочаговой природы Хибинского щелочного плутона // Оценка перспектив рудоносности геологических формаций при крупномасштабном геологическом картировании и поисках минералого-геохимическими методами. Тез. докл. Всесоюз. петрологического симпозиума, 12—14 апреля 1988 г. Л., 1988. С. 129—130.
2. Беляев К.Д., Увадьев Л.И., Шульга Т.Ф. Закономерности размещения массивов центрального типа Кольского п-ова // Докл. АН СССР. 1976. Т. 26. № 1. С. 113—165.
3. Бородин Д.С., Лапин А.В., Пятенко И.К. Петрология и геохимия даек щелочно-ультраосновных пород и кимберлитов. — М., 1976.
4. Булах А.Г., Иваников В.В. Проблемы минералогии и петрологии карбонатитов. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984.
5. Дудкин О.Б., Митрофанов Ф.П. Особенности

- Кольской щелочной провинции // *Геохимия*. 1983. № 5. С. 1075—1088.
6. *Иваников В.В., Филиппов Н.С., Богачев В.А., Путинцева Е.В.* Перспективы платиноносности щелочных комплексов Карело-Кольского региона // *Платина России*. 1985. Т. II. Кн. 2. С. 50—54.
 7. *Калинкин М.М., Арзамасцев А.А., Поляков И.В.* Кимберлиты и родственные породы Кольского региона // *Петрология*. 1990. Т. 1. № 2. С. 204—205.
 8. *Коваленкер В.А.* и др. Элементы платиновой группы в Рябиновом щелочном вулканоплутоническом комплексе // *Тез. докл. VII Международного платинового симпозиума*. М., 1994. С. 50.
 9. *Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г.* и др. Каледонский комплекс ультраосновных — щелочных пород и карбонатов Кольского полуострова и Северной Карелии. — М.: Недра, 1985.
 10. *Кухаренко А.А., Булах А.Г., Ильинский Г.А.* и др. Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита. — Л.: Недра, 1971. Т. XXII. Вып. 2.
 11. *Лазаренков В.Г., Малиц К.Н., Сахьянов Л.О.* Платинометаллическая минерализация зональных ультраосновных и коматитовых массивов. — Л.: Недра, 1982.
 12. *Магматизм и металлогения рифтогенных систем восточной части Балтийского щита* / Под ред. А.Д.Шеглова. — СПб: Недра, 1993.
 13. *Милановский Е.Е., Никишин А.М., Фурнэ А.В.* Рифейская эволюция Восточно-Европейского кратона // *Докл. РАН*. 1994. Т. 339. № 4. С. 513—577.
 14. *Митчелл А., Гарсоон М.* Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. — М.: Мир, 1984.
 15. *Орлова М.П., Шаденков Е.М.* Лампроиты Костомукши (Юго-Западная Карелия) // *Зап. Всерос. минерал. о-ва*. 1992. Ч. 121. № 8. С. 33—43.
 16. *Проскураков В.В., Увадьев Л.И., Воинова О.А.* Лампроиты Карело-Кольского региона // *Докл. АН СССР*. Т. 314. № 4. С. 940—943.
 17. *Путинцева Е.В., Иваников В.В., Рухлов А.С.* Карбонатитовый магматизм Канда拉克шского грабена: новые данные // *Вопросы геологии и археологии*. Тез. докл. международного симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения А.А.Иностранцева. СПб., 1994. С. 44—47.
 18. *Рудашевский Н.С.* Платиноиды в породах ультрамафитовых формаций (минералогия и генезис): Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. Л., 1988.
 19. *Рудашевский Н.С., Кнауф В.В., Краснова Н.И.* и др. Платинометаллическая и золото-серебряная минерализация в рудах и карбонатах щелочно-ультраосновного комплекса (Ковдорский массив, Россия) // *Зап. Всерос. минерал. о-ва*. 1995. Вып. 15. С. 1—15.
 20. *Хазов Р.А., Попов М.Г., Бискэ Н.С.* и др. Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. — СПб.: Наука, 1993.
 21. *Doig R.* An alkaline rock province linking Europe and N.America // *Can.J.Earth Sci.* 1970. № 7. P. 22—28.
 22. *Rock M.M.S.* Lamprophyres. — Edinburgh, 1990.
 23. *Mitchell R.X., Bergman S.C.* Petrology of lamproites // *Plenum Press*. New York and London, 1991.
 24. *Vartiainen H., Paarma H.* Geological characteristics of the Socli carbonatite complex. Finland // *Econ. Geol.* 1979. P. 1296—1306.
 25. *Watkinson D.H., Dahl R.* Platinum group mineral precipitation from fluids in pegmatitic gabbro: Two Duck Lake Intrusion, Coldwell Complex, Ontario // *Geoplatina*. 1988. 87. Elsevier, Amsterdam. P. 237.

Принята редколлегией 30 октября 1995 г.

УДК 551.243:553.632(470.53)

© С.Д.Гемп, 1996

Влияние структуры Верхнекамского месторождения калийных солей на его эксплуатацию

С.Д.ГЕМП (АО ВНИИГ)

Относительно механизма и основных движущих факторов, обусловивших формирование структуры Верхнекамского месторождения калийных солей, высказываются различные точки зрения. Наиболее широкое распространение получило представление о ведущей роли тектонических напряжений, исходящих со стороны складчатого Урала [1, 3, 8, 9, 14]. Выяснение особенностей строения и формирования месторождения имеет не только научное значение. Как показала практика эксплуатации месторождения, знание конкретной геологической обстановки на обрабатываемых участках и их преобразований, которые они претерпели в процессе формирования структуры месторождения, имеют большое значение для безопасного ведения подземных горных работ.

В результате геоструктурного анализа участка месторождения, заключенного между Боровицким и Дуринским прогибами (рис. 1), были отмечены следующие особенности его строения. В центральных частях Боровицкого и Дуринского прогибов фиксируется почти полное выпадение из разреза

соленосных отложений и выполнение этих прогибов мощной толщей пестроцветов шешминской свиты. С южной стороны прогибов расположены субширотные валлообразные поднятия с увеличением в 1,5 раза мощности подстилающей каменной соли. На северных бортах прогибов происходит свержу вниз постепенное нарастание мощности как продуктивной части разреза, так и подстилающей каменной соли до их обычных размеров. Имеет место затухание интенсивности складчатых деформаций с запада на восток, что уже отмечалось [7], но авторы не нашли ему объяснения. В центральной части рассматриваемого участка отсутствует линейность в расположении локальных структур. Широко распространены сдвиговые деформации со смещением более северных структур относительно южных в восточном направлении. Получили развитие сбросовые нарушения с опущенными восточными крыльями, затухающие с глубиной и переходящие в межпластовые срывы. Соленосные отложения на уровне обрабатываемых пластов несут на себе следы растяжи-

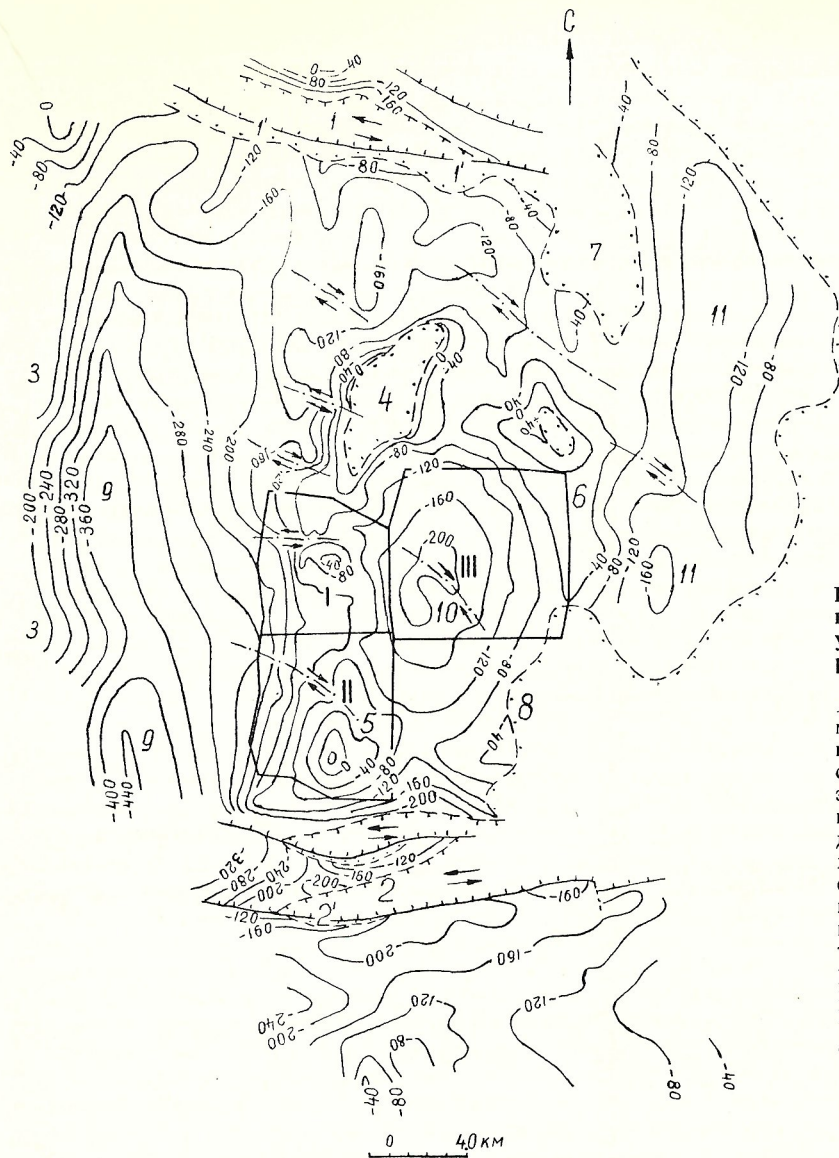
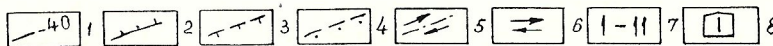


Рис. 1. Структурная карта по кровле пласта АБ Соликамского участка Верхнекамского месторождения:

1 — изогипсы кровли пласта АБ, м; 2 — сбросо-сдвиги; 3 — граница подземного тектонического срыва пласта АБ; 4 — граница зон подземного выщелачивания пласта АБ; 5 — оси сдвиговых деформаций и направления движения блоков; 6 — направления относительного перемещения подсолевых блоков в поперечных прогибах; цифры на рисунке — тектонические структуры: поперечные прогибы: 1 — Боровицкий, 2 — Дуринский; валы: 1¹ — Южно-Боровицкий, 2¹ — Южно-Дуринский, 3 — Камско-Вишерский; антиклинали: 4 — Клестовская, 5 — Соликамская, 6 — Харюшинская, 7 — Потымковская, 8 — Пашковская; депрессии: 9 — Камская, 10 — Тверитинская, 11 — Осокинская; римские цифры — площади шахтных полей Соликамских калийных комбинатов



вающих напряжений (трещины различных генераций, разрывы и разлинзования отдельных пластов и прослоев). Площадь месторождения представляет собой чередование участков сжатия (антиклинали) и растяжения (депрессии). Большинство наиболее крупных зон замещений приурочено к выположенным участкам антиклинальных поднятий и зонам сдвигов. Антиклинальные соленосные поднятия пространственно тяготеют к пологим уступам подсолевого ложа, а депрессии соленосного структурного плана — к наиболее приподнятым или крупным отрицательным структурам подсолевого рельефа (Тверитинский прогиб).

Отмеченные выше особенности строения рассматриваемого участка Верхнекамского месторождения калийных солей не получают удовлетворительного объяснения с позиций, признающих в качестве ведущего фактора формирования структуры тектонические на-

пряжения со стороны Урала [1, 3, 8, 9, 14]. Положение дел существенно меняется, если исходить из того, что в действительности имело место не надвигание складчатых сооружений Урала, а пододвигание Восточно-Европейской платформы под уральские сооружения, что совпадает с представлениями, изложенными в некоторых работах [6, 11, 13]. Характерно, что в процессе своего пододвигания платформа испытывала одновременный правосторонний разворот, что согласуется с левосторонними смещениями по сдвигам в пределах Урала, происходившими с позднекаменноугольного времени до альба включительно [12], а также с анализом [2] палеомагнитных данных [4, 5].

При поступательно-вращательном движении в восточном направлении Восточно-Европейская платформа испытывала сопротивление со стороны деформируемых в пределах Урала горных пород. Это должно было

вызвать дробление тела платформы на отдельные блоки по нарушениям, субперпендикулярным простиранию Урала с перемещением их друг относительно друга по левосторонним сдвигам. Такая трактовка объясняет характер дислокаций соленосных отложений в пределах Дуринского и Боровицкого прогибов и их обрамления.

Породы в пределах Верхнекамского месторождения резко различаются по физико-механическим свойствам: относительно пластичные соли и более жесткие подстилающие и перекрывающие образования. Верхняя часть соленосного разреза представляет собой слоеный пирог из более пластичных калийно-магневых пластов и менее пластичных пластов и прослоев каменной соли. Следовательно, в процессе поступательно-вращательного движения подсолевого ложа при наличии на востоке от месторождения жесткого упора из складчатых структур, образованных на более ранних стадиях формирования Урала, соленосная толща играла роль своеобразной смазки, в которой образовывались многочисленные межслоевые срывы. Это обусловило отставание поступательного движения верхней части соляного разреза и перекрывающих их отложений относительно движущегося подсолевого ложа, что и вызвало затухание интенсивности деформации соляного разреза с запада на восток.

Большинство антиклинальных структур месторождения и осложняющих их складок более мелкого порядка характеризуется преимущественно субмеридиональным простиранием. Это свидетельствует о ведущей роли тектонических напряжений субширотного простирания. Резкое изменение простирания и конфигурации поднятий имеет место в центральной части рассматриваемого участка (см. рис. 1). Сопоставление структурных планов соленосных отложений по кровле отрабатываемого пласта АБ и кровле подсолевого ложа показывает на приуроченность антиклинальных поднятий соленосных образований к пологим уступам подсолевого ложа. В процессе поступательно-вращательного движения подсолевого ложа в восточном-юго-восточном направлении пластичные соленосные отложения отжимались, соскальзывали с приподнятых участков подсолевой поверхности и скупивались в зонах структурных уступов, противоположных направлению движения ложа (рис. 2, I, а). В результате того, что отжатие и соскальзывание солей с приподнятых участков происходило в северо-западном направлении, а в опущенных частях за структурными уступами соленосные породы совместно с ложем двигались на юго-восток, в зонах скупивания формировались левосторонние сдвиговые деформации. Это отчетливо фиксируется по изгибам рек Усолка и Поповка на участках их протекания над Соликамским поднятием. Если уступы были обращены навстречу движению, здесь также

происходило скупивание солей, т.к. они как бы «сгребались» движущимися уступами (см. рис. 2, I, б). Анализ указанных выше структурных планов показал, что амплитуда соленосных поднятий и их конфигурация зависят от простирания и формы уступа подсолевого ложа по отношению к его движению. Если уступ перпендикулярен движению и обращен в противоположную сторону от него (см. рис. 2, II, а), то формировались наиболее высокоамплитудные поднятия (Клестовское и Пашковское, см. рис. 1). При субмеридиональном простирании уступа (см. рис. 2, II, б) были сформированы также достаточно высокоамплитудные поднятия (Соликамское), что свидетельствует о ведущей роли субширотного движения. Когда простирание пород солевого уступа оказывалось практически параллельным направлению движения подсолевого ложа (см. рис. 2, II, в) или близким к нему (см. рис. 2, II, д), скупивания соленосных образований практически не происходило (северный и южный борты Тверитинской депрессии, см. рис. 1). Если уступ имел коленообразную конфигурацию, обращенную выгнутой частью по направлению движения (см. рис. 2, II, г), то на месте его изгиба происходило максимальное скупивание солей, а соляное поднятие как бы облекало данный подсолевой уступ, приобретая весьма необычную конфигурацию (Харюшинское, см. рис. 1).

Особенности деформаций соленосной толщи, которые происходили под воздействием крутящей составляющей движущегося подсолевого ложа, могут быть рассмотрены на следующей схеме (см. рис. 2, III). Точки А и В — два произвольно взятых объекта в пределах блока подсолевого ложа, испытывающего правосторонний разворот, удаленные от центра вращения (точка О) на различные расстояния. В результате поворота данного блока на угол α указанные точки займут соответственно положения A^1 и B^1 . При наличии между подстилающим ложем и соляными отложениями жесткого сцепления соленосные отложения одного и того же соляного тела переместятся соответственно на расстояния AA^1 и BB^1 . При этих условиях перемещение точки В произойдет на гораздо большее расстояние, чем точки А. Приrost перемещения между данными точками относительно исходной позиции будет равен: $A^1D \perp AB$ и $AC \parallel BB^1$ или $2AB \sin \alpha / 2$. Чтобы указанное перемещение стало возможным, соляное тело должно претерпеть при этом интенсивное растяжение. Таким образом, воздействие крутящей составляющей в процессе формирования структуры месторождения выразилось в том, что соляное тело на всей площади своего распространения подвергалось интенсивному растяжению по направлению северо-запад — юго-восток.

Воздействие крутящей составляющей на соленосную толщу в пределах площади ме-

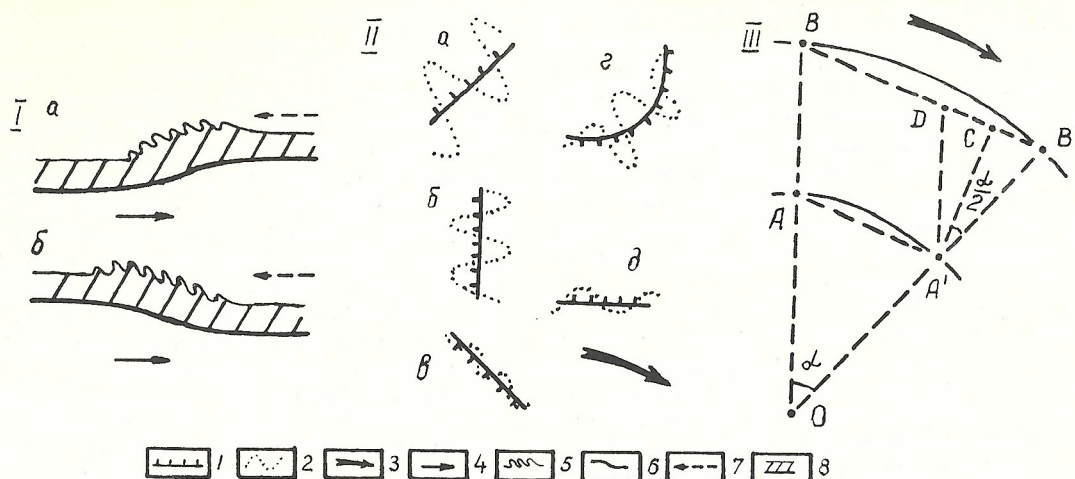


Рис. 2. Принципиальная схема деформации соленосных отложений под воздействием поступательно-вращательных движений подсолевого ложа:

I — схема деформации соли в пределах движущегося подсолевого уступа: *a* — противоположного его движению, *б* — встречного направлению движения; *II* — схема изменения интенсивности деформации соли в зависимости от простираия подсолевого уступа; *III* — схема воздействия крутящей составляющей на деформацию соляного тела; 1 — структурный уступ подсолевого ложа; 2 — условная кривая интенсивности деформации соленосных пород; направление движения подсолевого ложа: 3 — в плане, 4 — на профиле; 5 — поверхность соли на уровне отрабатываемых пластов; 6 — поверхность подсолевого ложа; 7 — направление перемещения деформируемых солей; 8 — соленосные отложения

сторождения проявилось неравномерно. На многочисленных участках происходила разрядка указанных напряжений, приведшая к нарушению целостности горного массива и выразившаяся в относительном перемещении отдельных достаточно крупных блоков соляных пород относительно друг друга по зонам правосторонних сдвиговых дислокаций (см. рис. 1). В зависимости от направления взаимного перемещения блоков соляных пород относительно друг друга (правоили левостороннего сдвига), характер дислокаций соляной толщи в зонах этих сдвигов существенно различался.

Как отмечалось выше, в пределах структурных уступов подсолевого ложа, противоположных его движению (см. рис. 2, *II*, *a*, *б*), за счет отжатия и соскальзывания солей с приподнятых участков в северо-западном направлении и встречного движения соляных пород совместно с подсолевым ложем на опущенных происходило сжатие солей и формирование в пределах деформируемых солей левосторонних сдвигов. Например, на севере шахтного поля БКРУ-4 при сравнительно спокойном залегании соляных пород фиксируются два небольших левосторонних сдвига. В зонах этих сдвигов имеет место увеличение мощности как калиеносной части разреза, так и подстилающей каменной соли в интервале до маркирующего горизонта. В пределах правосторонних сдвигов, т.е. в поясах между расходящимися соляными блоками, что наиболее отчетливо фиксируется примерно в центральной части шахтного поля СКРУ-3 (см. рис. 1), происходило растяжение соленосных образований, сопровождающееся уменьшением их мощности. К

зонам данных сдвигов приурочены также зоны замещения.

Влияние вращающейся составляющей сказалось не только на выположенных участках месторождения, но и в пределах антиклинальных поднятий, т.е. в зонах скупивания соляных пород. Оно выразилось в наличии правосторонних сдвигов, отчетливо фиксируемых на структурных картах. Проявилось это влияние в качестве выположенных участков со следами растяжения, к которым приурочены обширные зоны замещения, сопровождающиеся уменьшением мощности отложений, фиксируемых и за пределами зон замещений. Сказалось это влияние и в пределах складчатых зон (с амплитудой складок до 5 м), где нередко более пологие восточные крылья складок несут на себе следы растяжения (разлинзование и растаскивание на отдельные блоки коржа пласта АБ, шахтное поле СКРУ-2).

Изложенное выше дает основание прийти к заключению, что структура Верхнекамского месторождения калийных солей была сформирована под воздействием поступательно-вращательных субгоризонтальных движений блоков подсолевого ложа, т.е. структура месторождения формировалась под воздействием пододвигания Восточно-Европейской платформы под уральские сооружения при одновременном ее правостороннем развороте, а не за счет тектонических напряжений со стороны складчатого Урала. Большое влияние на характер деформаций как отрабатываемых пластов, так и перекрывающих их отложений оказала вращательная составляющая тектонических напряжений, которая способствовала формированию многочисленных зон растяже-

ния. В пределах последних происходило нарушение целостности пород водозащитной толщи (ВЗТ). Недостаточно полный учет особенностей формирования структуры месторождения, а также трактовка его формирования с диаметрально противоположных позиций [3, 14], приводит к тому, что не уделяется должного внимания зонам растяжения в процессе отработки месторождения, результатом чего являются негативные последствия эксплуатации.

В январе 1986 г. на шахтном поле БКРУ-3 течь в подземных горных выработках появилась, которая очень быстро прогрессировала, и через два месяца произошло затопление рудника. В официальном заключении о причинах аварии было сказано, что «это произошло из-за несоответствия параметров системы и порядка отработки калийных солей конкретным геологическим условиям района аварии, которые не были известны и изучены заранее» [10, с. 180]. Параметрам системы и порядку отработки посвящена специальная работа [15]. В чем заключаются «конкретные геологические условия района аварии», ничего не сказано. Мало что дало для решения вопроса о причинах аварии, а также определения характера дислокаций горных пород на осложненных участках месторождения введение в научно-техническую терминологию понятия о «зонах разрывных и флексурно складчатых дислокаций» [3, 14]. С одной стороны, это понятие включает весьма расплывчатое геологическое содержание. С другой — указанные зоны выделяются на участках месторождения с различной геологической ситуацией, а составляющие данного понятия могут иметь совершенно различную природу.

Геоструктурный анализ площади шахтного поля БКРУ-3 и прилегающих к нему территорий показывает, что западная опущенная часть шахтного поля приурочена к заливообразному прогибу субширотного простирания, который осложняет более крупную синклиналь северо-западного простирания, расположенную между Березниковским и Белопашенским поднятиями. Данная синклиналь осложнена крупными правосторонними сдвиговыми деформациями северо-западного простирания. Об этом свидетельствуют смещение на восток на 11 км оси Березниковского поднятия относительно Белопашенской структуры и два коленообразных перегиба восточного склона данной синклинали, расположенные в пределах шахтного поля. Вторая зона сдвиговых деформаций имеет субширотное простирание и протягивается вдоль северной границы шахтного поля. По данной зоне приподнятая восточная половина структуры шахтного поля смещена на восток относительно оси Березниковского поднятия примерно на 4 км. Таким образом, северо-западный участок шахтного поля, где произошел прорыв подземных вод в горные выработки, расположен

на пересечении двух зон сдвигов, которые не могли не нарушить целостности пород ВЗТ. О сильной нарушенности этих образований свидетельствует уникальный характер расположенных здесь зон замещений. Они развивались не снизу вверх, как на большинстве участков месторождения, а сверху вниз до пласта В включительно. Сокращение мощности продуктивной части разреза, наличие межпластовых срывов, а также гипсангидритовых тел, нехарактерных для разреза месторождения, также говорят в пользу нарушенности пород ВЗТ на данной площади месторождения.

5 января 1995 г. на площади шахтного поля СКРУ-2 в пределах I и II северо-восточных панелей (СВП) горизонта — 143 м произошло катастрофическое обрушение горных пород с одновременным проседанием земной поверхности до 4,4 м (рис. 3). Размеры площади обрушения на уровне пласта АБ 560×660 м, а на дневной поверхности 760×960 м. Официальное заключение о причинах обрушения: «землетрясение силой 5 баллов по шкале Рихтера в районе Соликамска» [10, с. 181]. Если принять данную точку зрения, то все равно остается неясным, почему обрушение произошло именно здесь. Почему данное землетрясение проявилось на столь ограниченной площади и никак не сказалось, например, на площади шахтного поля СКРУ-3, кровля выработок которого характеризуется низкой устойчивостью и т.д. По весьма заниженным подсчетам произошло обрушение горного массива массой, значительно превышающей 200 млн.т, что, естественно, не могли не зафиксировать ближайшие сейсмостанции.

Геоструктурный анализ района обрушения (см. рис. 3) свидетельствует, что участок обрушения горных пород расположен на северном продолжении крупной зоны замещения, находящейся в районе скв. 130 и 131. В горных выработках, пройденных через данное замещение, видны многочисленные разрывы, разлинзования и растаскивания коржа пласта АБ, свидетельствующие об интенсивном растяжении горных пород в пределах зоны замещения. Растягивающие напряжения, которые испытывали горные породы в процессе формирования данной структуры, не ограничивались ее пределами. Например, фиксировались открытые трещины в пределах II СВП к северу от зоны замещения. Кроме того, в нижней части продуктивного разреза и подстилающей каменной соли, по данным скв. 130, даже с поправкой на уменьшение мощности разреза, происходящего в процессе формирования замещений, недостает более 9 м мощности. Сбросовые нарушения в подземных горных выработках, пройденных в непосредственной близости от скв. 130, не установлены. Следовательно, указанное сокращение мощности разреза может быть обусловлено лишь интенсивным растяжением указанных

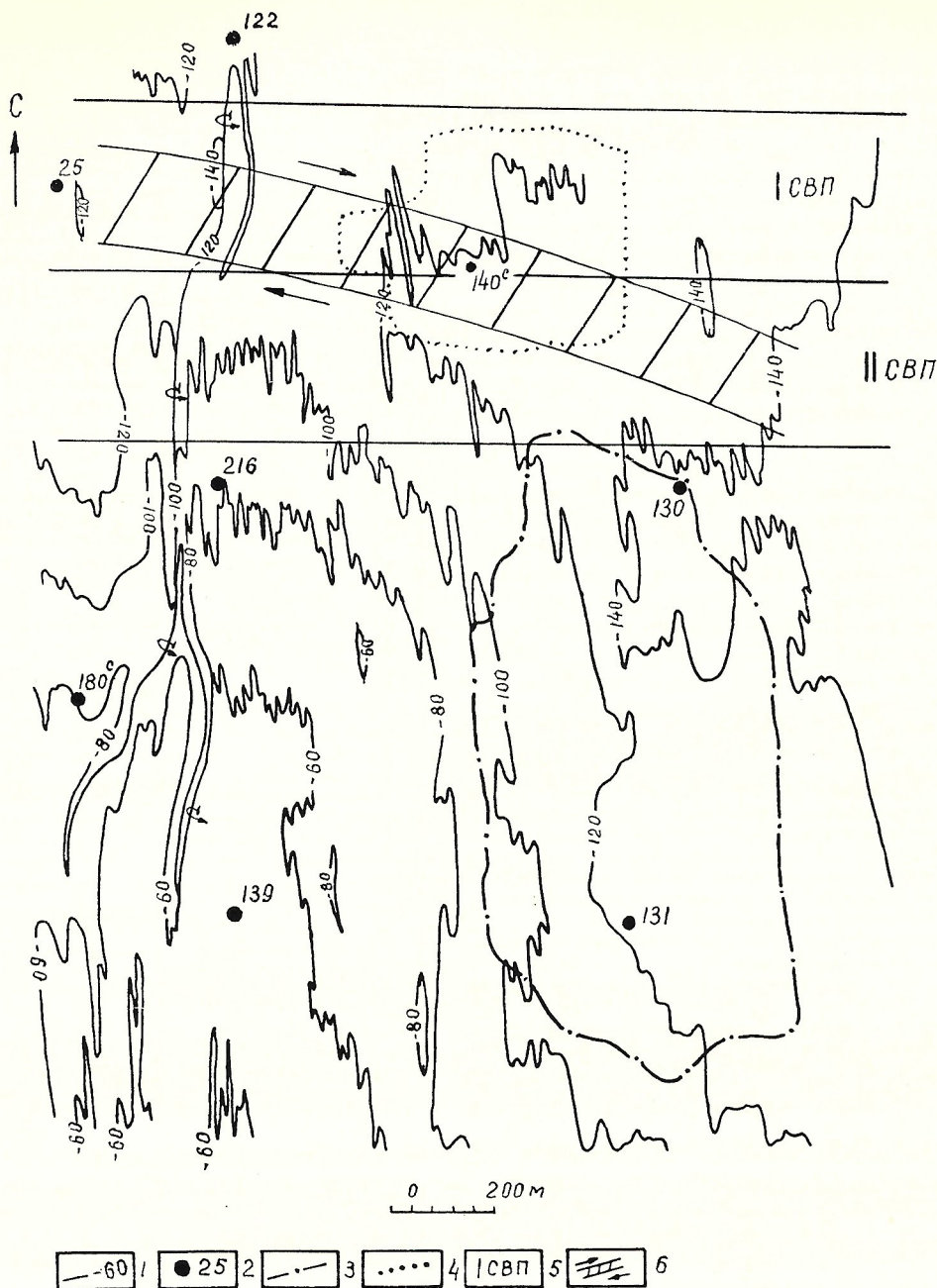


Рис. 3. Структурная схема северо-восточной части шахтного поля СКРУ-2 по кровле пласта АБ:

1 — изогипсы кровли пласта АБ, м; 2 — разведочные и структурные скважины и их номера; 3 — контуры зоны замещения по пласту Кр-II; 4 — контуры провала по пласту АБ; 5 — северо-восточные панели горизонта —143 м; 6 — зона сдвига

отложений, произошедшим в процессе геотектонического развития месторождения.

Протянувшаяся с севера на юг более чем на 3 км крупная моноклиальная складка с пологим восточным крылом и опрокинутым западным испытывает в пределах I и II СВП коленообразный перегиб (см. рис. 3). Наличие указанного перегиба свидетельствует об осложнении данной структуры правосторонним сдвигом запад-северо-западного простирания. Как отмечалось выше, зоны данных сдвигов сопровождаются растяжением горных пород. К северу от зоны сдвига

степень осложнения соленосных отложений мелкой складчатостью значительно ниже, чем к югу от него. Это свидетельствует о том, что горные породы к северу от сдвига испытывали относительное растяжение по сравнению с южным участком.

Приведенные данные дают основание считать, что породы ВЗТ на данном участке в процессе формирования структуры месторождения были в значительной степени ослаблены, что и обусловило их недостаточную устойчивость. Косвенным подтверждением этого является двухдневное горение

газа в горных выработках после провала. Естественно, что скопиться в значительных количествах газ мог только в трещиноватых или пористых породах.

Следовательно, возникает объективная необходимость обратить особое внимание на участки месторождения, горные породы которых подвергались растяжению. Заслуживает внимания также сходство строения так называемого опытного участка на шахтном поле БКРУ-4 с участком провала на СКРУ-2.

Таким образом, рассмотренный материал свидетельствует о том, что структура Верхнекамского месторождения калийных солей была сформирована в результате пододвигания Восточно-Европейской платформы под уральские сооружения при ее одновременном правостороннем развороте. Крутящая составляющая, а также сам процесс пододвигания подсолоевого ложа оказали большое влияние на формирование различных зон растяжения, в пределах которых породы ВЗТ были значительно ослаблены. Учет этих данных может существенно повысить безопасность ведения подземных горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буш В.А., Казанцев Ю.В., Камалетдинов М.А. и др. Сравнительная тектоника Среднеевропейского и Предуральского верисийских краевых прогибов // Геотектоника. 1984. № 1. С. 73—84.
2. Гемп С.Д. Предуральско-Прикаспийский калиеносный регион. Реконструкция геоструктурного и палеогеографического положения соленосного бассейна // Закономерности размещения и критерии поисков калийных солей СССР. Тбилиси, 1989. С. 206—225.
3. Джиноридзе Н.М., Павленский А.Н., Плотников

- Ю.А. и др. Геологические аспекты безопасной эксплуатации калийных рудников // Геофизические аспекты изучения геологического строения месторождений калийных солей. Л., 1989. С. 23—52.
4. Зоненшайн Л.П., Городницкий А.М. Палеозойские и мезозойские реконструкции континентов и океанов. Ранне- и среднепалеозойские реконструкции // Геотектоника. 1977 а. № 2. С. 3—23.
5. Зоненшайн Л.П., Городницкий А.М. Палеозойские и мезозойские реконструкции континентов и океанов. Палеозойские и мезозойские реконструкции // Геотектоника. 1977 б. № 3. С. 3—24.
6. Зоненшайн Л.П. Тектоника внутриконтинентальных складчатых поясов // Докл. XXVII МГК. 1984. Т. 7. С. 48—59.
7. Иванов А.А., Воронова М.Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. — Л.: Недра, 1975.
8. Казанцев Ю.В. Структурная геология Предуральского прогиба. — М.: Наука, 1984.
9. Казанцев Ю.В., Камалетдинов М.А. Особенности соляной тектоники южной части Предуральского прогиба и ее связь с надвиговыми дислокациями // Геотектоника. 1977. № 4. С. 81—87.
10. Кузнецов Н.В. О влиянии хозяйственной деятельности на геологическую среду в районе Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Горный журнал. 1995. № 6. С. 179—181.
11. Перфильев А.С. Формирование земной коры уральской эвгеосинклинали // Тр. ГИН АН СССР. 1979. Вып. 328.
12. Плюснин К.П. Методические рекомендации по использованию кинематических признаков разрывов для определения геологического возраста тектонических дислокаций и горных пород. — Свердловск: Уралгеология, 1982.
13. Руженцев С.В. Краевые офиолитовые аллохтоны // Тр. ГИН АН СССР. 1976. Вып. 283.
14. Тектоника, минералообразование и их значение в решении проблемы безопасной эксплуатации месторождений калийных солей / Под ред. Н.М.Джиноридзе. СПб., 1992.
15. Шиман М.И. Предотвращение затопления калийных рудников. — М.: Недра, 1992.

Принята редколлегией 25 марта 1996 г.

Литология, петрология, минералогия, геохимия

УДК 553.55:53

© П.Н.Страхов, Н.В.Лысак, 1996

О сообщаемости между пустотами различного генезиса в карбонатных отложениях

П.Н.СТРАХОВ (ВНИГНИ), Н.В.ЛЫСАК (АО «Геореспол»)

При моделировании строения природных резервуаров, приуроченных к карбонатным отложениям, очень часто в центре внимания оказывается вопрос о характере изменения фильтрационных свойств. Главная сложность, возникающая при его решении, заключается в том, что современные геофизические методы, на которых базируется подавляющее большинство исследований в нефтяной геологии, не позволяют получать данные о проницаемости пластов с достаточной степенью надежности. Рассматриваемый параметр определяется или на основании лабораторных анализов керн, или в результате гидродинамических испытаний сква-

жин. Поэтому при прогнозировании характера изменения фильтрационных свойств пород приходится опираться на эмпирические зависимости и, в первую очередь, на соотношение между пористостью, определение которой по ГИС не вызывает принципиальных трудностей, и проницаемостью. При этом необходимо иметь в виду, что кроме пористости на проницаемость влияют удельная поверхность, извилистость, размеры и форма пустот и т.п. [1]. Не опровергая данное положение, отметим, что получаемые зависимости между проницаемостью и перечисленными параметрами, как правило, отличаются большим разбросом значе-

1. Генетическая классификационная схема пор и каверн

Тип	Подтип	Класс	Подкласс
Первичный		Аккумуляционный	
		Хемогенно-аккумуляционный	Постинкрустификационный
			Посткрустификационный
			Неполного выполнения микритом
Вторичный	Унаследованного развития	Унаследованного выщелачивания	
		Остаточные после вторичного минералообразования	
	Нового образования	Перекристаллизации	
		Доломитизации	
		Выщелачивания	Выщелачивания перекристаллизованных и доломитизированных участков
			Выщелачивания вдоль трещин

ний. Одной из причин этого является практическое игнорирование вопроса по изучению генезиса пустот. При построении соответствующих зависимостей не проводится предварительное разделение образцов по данному признаку.

Цель данной работы — показать на примере карбонатных пород Карачаганакского и Тенгизского месторождений необходимость учета генезиса пустот при моделировании строения природного резервуара. Было проанализировано 1540 шлифов, около 10 000 определений пористости и проницаемости, а также результаты изучения трещиноватости, выполненные по 600 образцам. При изучении каверно-порового пространства использована классификационная схема (табл. 1), предложенная Г.Е.Белозеровой и П.Н.Страховым (1989).

Пустотное пространство карбонатных пород очень редко бывает однородным. В непосредственной близости друг от друга могут существовать сразу несколько генетических разновидностей пор и каверн. Нами было установлено, что гидродинамическая сообщаемость между ними имеет случайный, а не обязательный характер, во всяком случае, она неоднократно нарушалась в ходе геологической истории. На это, в частности, указывают литологические методы. Во-первых, это хорошо видно на примере пор и каверн унаследованного развития и нового образования. Первые существовали в карбонатных отложениях тогда, когда заложение вторых еще не началось. В последующем по мере проявления в породах процессов перекристаллизации и (или) доломитизации развитие пустот шло по совершенно противоположным направлениям [2, 3]. У пустот унаследованного развития значительно ухудшались емкостные свойства, тогда как у пор нового образования, наоборот, улучшались.

Во-вторых, очень часто рядом с первичными порами находятся пустоты унаследованного выщелачивания, остаточные после кристаллизации карбонатного материала и их палеоаналоги, прекратившие существо-

вание в результате процессов вторичного минералообразования. Характер формирования пустот, как известно, во многом зависит от геохимической обстановки пластовых вод. Если бы рассматриваемые поры и каверны на протяжении всей геологической истории имели хорошую гидродинамическую сообщаемость между собой, то в них существовали бы растворы одинакового состава и соответствующие преобразования происходили бы одновременно. В этом случае стало бы невозможным нахождение в непосредственной близости друг от друга пустот различных классов, что противоречит практическим наблюдениям.

Полученные выводы подтверждаются результатами петрофизических исследований. Прямыми методами определить характер сообщаемости между пустотами различного генезиса по техническим причинам в настоящее время не представляется возможным, поэтому был использован комплекс косвенных способов оценки данного показателя. В его основе лежит вероятностная связь между фильтрационными и емкостными свойствами пород.

В принципе для создания фильтрующей системы в образце необходимо, чтобы объем пор и каверн в нем достиг критической величины. Дальнейшее возрастание пустотной емкости должно сопровождаться среднестатистическим увеличением проницаемости пород. Однако данные рассуждения верны только в случае, если пустотное пространство однородно. Если же в породе присутствует несколько практически изолированных друг от друга систем, то картина может существенно усложниться.

В качестве примера возьмем абстрактный образец. Допустим в нем существует N совершенно однотипных изолированных друг от друга пустотных систем, каждая из которых имеет соответствующую емкость k_{pi} . Предположим, что «критическая» пористость, при которой каждая из систем замыкается в фильтрующую, составляет одну и ту же величину $k_{кр}$. Таким образом, прони-

цаемыми будут не все системы, а только те из них n , емкость которых превосходит критическую величину $k_{pi} > k_{п,кр}$. Получается, что в формировании общей фильтрующей системы образца участвует не весь пустотный объем K_p , а только его «эффективная» часть $k_{п,эф}$, равная

$$k_{п,эф} = \sum_{i=1}^n k_{pi}.$$

Проницаемость образца $k_{пр}$ будет равна сумме проницаемостей каждой пустотной системы k_{pi} , пустотная емкость которой больше критической. В свою очередь, проницаемость i -й системы является функцией F не всей пустотной емкости, а только той ее части, которая превосходит критические значения

$$k_{pi} = \sum_{i=1}^n F(k_{pi} - k_{п,кр}).$$

Следовательно, общая проницаемость образца равна:

$$k_{пр} = \sum_{i=1}^n F(k_{pi} - k_{п,кр}).$$

Если бы существовала гидродинамическая связь между данными системами, то проницаемость составила бы:

$$K_{пр} = F(K_p - k_{п,кр}).$$

В первом случае на проницаемость реально влиял объем пустот V_1 , равный

$$V_1 = \sum_{i=1}^n k_{pi} - k_{п,кр}.$$

Во втором: $V_2 = K_p - k_{п,кр}$.

Разница существенная, чтобы влиять на проницаемость, даже если бы существовала линейная зависимость между фильтрационными и емкостными свойствами пород, тогда как показывает опыт, она должна иметь экспоненциальный характер [4]. Таким образом, при сравнении двух образцов с одинаковой пористостью наиболее вероятно, что лучшая проницаемость будет у того из них, который имеет более однородную пустотную систему.

Рассмотрим особенности зависимостей между пористостью и проницаемостью пород исследованных коллекций. Для повышения точности сопоставления данных функций их определение осуществлялось не совсем традиционным способом. Изучаемые коллекции образцов разбили на группы по емкостному признаку: в первую попали образцы с пористостью 5—6 %, во вторую — 6—7 %, в третью — 7—8 % и так далее с интервалом 1 %. Для каждой группы рассчитывались кумулятивные кривые проницаемости, по которым определялись медианные значения. Затем рассчитывались зависимости между логарифмами медианных значений проницаемости ($K_{пр}$, 10^{-15} м²) и пористостью (K_p , %) типа:

$$\lg K_{пр} = A K_p + B,$$

где A , B — эмпирические коэффициенты пропорциональности, приведенные в табл. 2.

Анализ полученных зависимостей показал, что при сопоставлении образцов с одинаковой пористостью наилучшая расчетная проницаемость наблюдается у пород протвинского горизонта (серпуховский ярус). Пустотное пространство рассматриваемых отложений характеризуется повышенным содержанием пор и каверн нового образования — 66,6 % общей емкости. Межформенные поры и каверны первичного типа и унаследованного развития составляют только 23,9 % объема пустот. Более плохие фильтрационные свойства отмечаются у пород тарусского и стешевского горизонтов — серпуховский ярус (нового образования — 52,2 %, первичные и унаследованного развития — 27,2 % пустотной емкости). Далее следуют отложения артинского (соответственно 40,2 и 12,5 %) и визейского (27,4 и 51,1 %) ярусов месторождения Карачаганак, каменноугольной системы месторождения Тенгиз (9 и 52,8 %) и ассельского яруса месторождения Карачаганак (27,3 и 35,5 %). В приведенной последовательности самой низкой проницаемостью обладают породы, пустотное пространство которых практически в равных долях содержит межформенные поры и каверны как нового образования, так и унаследованного развития. И наоборот, наиболее высокою проницаемостью имеют карбонатные отложения с более однородным пустотным пространством. Полученные выводы достаточно хорошо объясняет гипотеза об относительной изоляции друг от друга пустот различного генезиса, т.к. однородная пустотная система при прочих равных условиях будут характеризоваться лучшими фильтрационными свойствами, чем состоящая из нескольких самостоятельных подсистем.

Выявленные закономерности можно подтвердить еще одним способом оценки фильтрационных свойств пород. С этой целью для каждой емкостной группы образцов соответствующего объекта исследования определяли относительное содержание пород,

2. Коэффициенты пропорциональности зависимостей между медианными значениями проницаемости и пористостью

Месторождение	Стратиграфические подразделения	A	B	K
Карачаганак	Артинский ярус	0,17	-1,88	0,87
	Ассельский ярус	0,18	-2,09	0,96
	Серпуховский ярус:			
	протвинский горизонт	0,20	-1,95	0,95
	тарусский и стешевский горизонты	0,15	-1,65	0,93
Тенгиз	Каменноугольная система	0,19	-2,08	0,90

Примечание. K — коэффициент корреляции.

проницаемость которых не менее 10^{-16} м² (вероятность образования проницаемой системы в образцах с данной пористостью — P_k). Затем была рассчитана эмпирическая зависимость между P_k и пористостью K_p типа (рис. 1)

$$P_k = 1 - A \exp(B K_p),$$

где A , B — эмпирические коэффициенты пропорциональности (табл. 3).

Анализ эмпирических функций позволил получить аналогичную последовательность ухудшения проницаемости рассматриваемых отложений.

Установлено, что трещиноватость в данном случае не оказала определенного влияния на выявленную последовательность. Анализ поверхностной плотности и раскрытости трещин пород месторождения Карачаганак свидетельствует о том, что интенсивность воздействия изучаемого процесса на породы уменьшается в таком направлении: в начале последовательности стоят образцы тарусского и стешевского горизонтов (средняя раскрытость трещин 40 мкм, средняя поверхностная плотность трещин 0,72 см/см²), далее идут породы артинского (соответственно 31 мкм и 0,50 см/см²), ассельского (26 мкм, 0,42 см/см²), и визейского (25 мкм, 0,40 см/см²) ярусов. На-

3. Коэффициенты пропорциональности зависимостей между вероятностью формирования фильтрующей системы с проницаемостью не менее 10^{-16} м² и пористостью

Месторождение	Стратиграфическое подразделение	A	B	K
Карачаганак	Артинский ярус	5,23	-0,40	0,96
	Ассельский ярус	10,10	-0,49	0,96
	Серпуховский ярус	2,65	-0,33	0,98
	Визейский ярус	3,02	-0,33	0,94
Тенгиз	Каменноугольная система	5,49	-0,39	0,94

П р и м е ч а н и е. K — коэффициент корреляции.

правления среднестатистического ухудшения показателей трещиноватости и проницаемости не совпадают.

Кроме этого, на преобладающее влияние именно пористости на фильтрационные свойства пород убедительно указывают результаты сопоставления поверхностной плотности трещин и проницаемости (рис. 2). Практически отсутствует связь между рассматриваемыми параметрами. Слишком большой разброс значений не дает оснований говорить о существовании какой-либо зависимости в данном случае. Более подробное изучение графика (см. рис. 2) позволя-

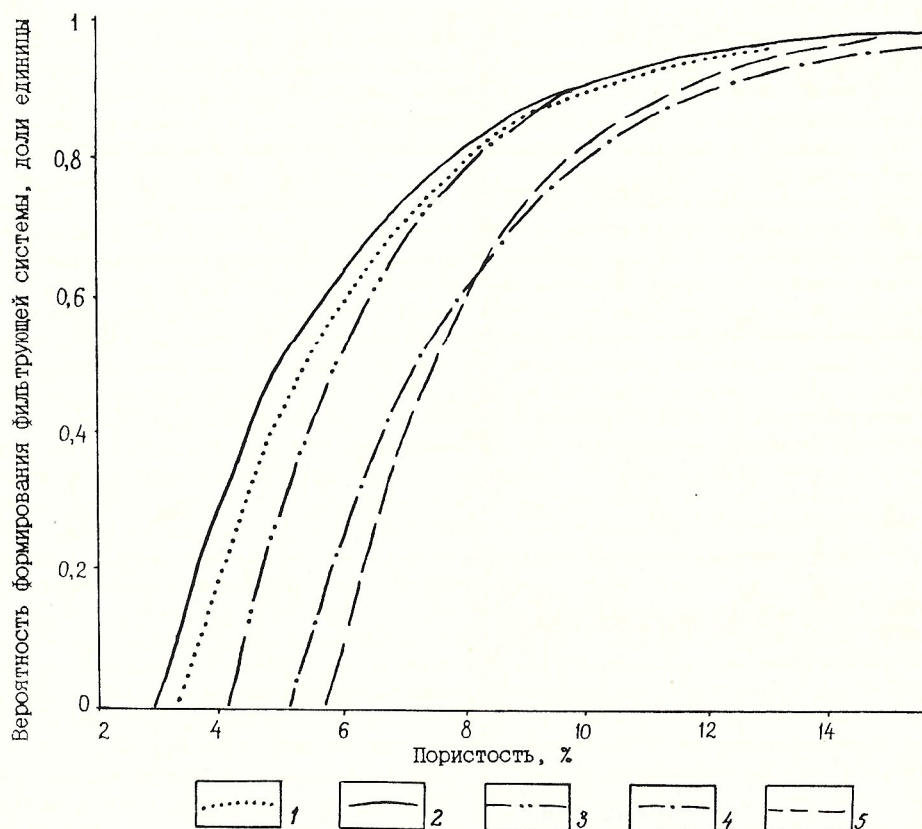


Рис. 1. Зависимость вероятности формирования фильтрующей системы в карбонатных породах:

1 — отложения визейского яруса месторождения Карачаганак; 2 — отложения серпуховского яруса, Карачаганак; 3 — отложения артинского яруса, Карачаганак; 4 — отложения ассельского яруса, Карачаганак; 5 — отложения каменноугольной системы, Тенгиз

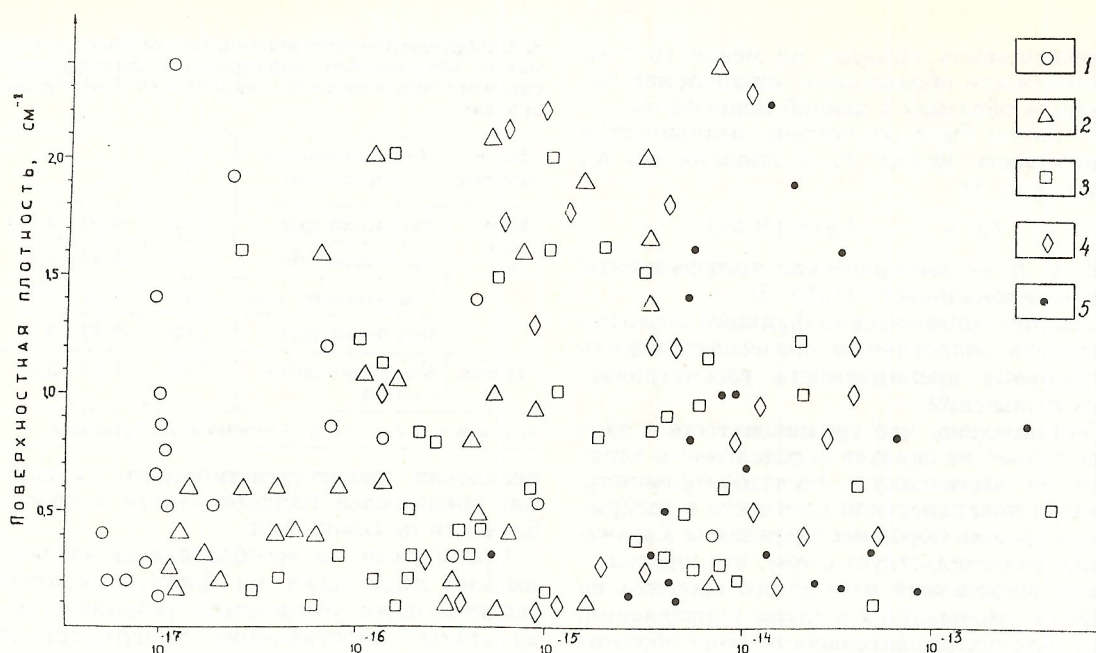


Рис. 2. Соотношение между проницаемостью и поверхностной плотностью трещин карбонатных пород: пористость, %: 1 — менее 3; 2 — 3–6; 3 — 6–9; 4 — 9–12; 5 — более 12

ют заключить, что наибольшее влияние на проницаемость оказывает общая пористость образца. Как правило, породы, пористость которых превышает 9 %, имеют проницаемость не менее $0,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$; у образцов, емкостные свойства которых изменяются в интервале от 3 до 9 %, фильтрационные свойства попадают в диапазон 10^{-16} – 10^{-15} м^2 ; низкоемкие породы (пористость менее 3 %) редко обладают проницаемостью, превышающей 10^{-15} м^2 .

Выявлены причины отсутствия существенного среднестатистического влияния трещин на проницаемость образцов, измеренную в лабораторных условиях. Вероятностные расчеты показали, что каждая вторая случайно ориентированная трещина располагается в образце кубической формы так, что исключается возможность ее участия в создании путей миграции флюидов хотя бы по одному направлению. В образце цилиндрической формы, если его длина относится к диаметру в пропорции 1:1, вероятность участия случайно ориентированной трещины в формировании фильтрующей системы составляет 22 %, для пропорции 2:1 — 18 %, 3:1 — 14 % и т.д.

Кроме того, как показали практические наблюдения, стенки многочисленных открытых трещин покрыты вторичным кальцитом или окисленным органическим веществом. Поэтому очень часто существует относительная гидродинамическая изоляция между трещинами и другими разновидностями пустот. Если трещина в исследуемом образце расположена «неудачно», то она отрицательно влияет на измеренную проницаемость образца. В то же время необходимо отметить, что данный анализ верен только для случаев изучения

фильтрационных свойств пород в лабораторных условиях. В пласте, очевидно, трещины должны более активно влиять на проницаемость, чем поры и каверны.

Отдельно рассмотрены породы, не имеющие трещин. В результате сопоставления измеренных параметров образцов (доля межформенных пор и каверн различного генезиса в общей пустотной емкости и проницаемость) и расчетных исследуемая коллекция была разделена на две части. К первой отнесены сильно перекристаллизованные или доломитизированные образцы пород артинского, серпуховского и визейского ярусов Карачаганакского месторождения, ко второй — остальные. В первой части коллекции пород преобладают межформенные пустоты нового образования, во второй — межформенные поры и каверны первичного типа и унаследованного развития. В тех случаях, когда в преобразованных породах артинского, серпуховского и визейского ярусов месторождения Карачаганак доля межформенных пор и каверн нового образования превышает фоновые значения, определенные для соответствующего стратиграфического объекта, измеренные значения проницаемости, как правило, превосходят расчетные. Из 44 образцов пород, характеризующихся повышенным содержанием межформенных пустот нового образования, 37 имеют проницаемость больше расчетной, 5 — равную и только 2 — меньше расчетной. Из 79 образцов с повышенным содержанием межформационных пустот первичного типа и унаследованного развития 28 имеют проницаемость больше расчетной, 9 — равную и 42 — меньше расчетной.

При изучении пород второй части коллек-

ции наблюдается обратная зависимость. Увеличение содержания межформенных пустот нового образования в целом не способствует улучшению фильтрационных свойств пород: из 41 образца 13 имеют проницаемость больше расчетной, 7 — равную и 21 — меньше расчетной. Положительное влияние на фильтрационные свойства пород оказывает увеличение содержания межформенных пор и каверн первичного типа и унаследованного развития. Из 91 образца с рассматриваемым составом пустот 53 имеют проницаемость больше расчетной, 16 — равную и 22 — меньше расчетной. Очевидно, в первом случае устойчивую проницаемую систему образуют преимущественно межформенные поры и каверны нового образования, тогда как емкость пустот первичного типа и унаследованного развития в большинстве случаев ниже критических значений, при которых начинается фильтрация флюидов через образец. Во втором случае наблюдается обратная картина: главную роль играют межформенные поры и каверны, формирование которых началось на стадии седиментогенеза. Полученные результаты также подтверждают предположение о существовании относительной изоляции пустот различного генезиса, т.к. в противном случае изменение генезиса пустот не

влекло бы за собой увеличение или уменьшение проницаемости.

Итак, исходя из косвенных способов оценки влияния генезиса пустот на проницаемость пород, можно сделать следующий вывод: сообщаемость между пустотами различного генезиса в одном образце имеет случайный характер. Поэтому проницаемость пород зависит от структурно-емкостных свойств не всех пор и каверн, а только от их доминирующих генетических разновидностей. При прочих равных условиях лучшая проницаемость свойственна отложениям с наиболее генетически однородной системой пустотного пространства. Игнорирование характера изменения генезиса пустот при проведении разведочных работ и составлении проекта разработки залежи может привести к серьезным ошибкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котяхов Ф.М. Физика нефтяных и газовых коллекторов. — М.: Недра, 1977.
2. Страхов П.Н. К вопросу о влиянии процессов перекристаллизации на каверно-поровое пространство известняков // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1993. № 9. С. 11—15.
3. Страхов П.Н. Особенности формирования каверно-порового пространства в доломитах Карачаганакского месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1994. № 11. С. 7—10.
4. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. — М.: Недра, 1969.

Геофизика и глубинное строение

УДК 550.837.75:551.34

© Коллектив авторов, 1996

Распределение электрических и радиоволновых параметров карбонатных пород в межразломном пространстве

А.Т.БОНДАРЕНКО, В.Ю.АБРАМОВ (ЦНИГРИ),
Н.Н.ЗИНЧУК, А.Б.ПЫСТИН (ЯНИГП ЦНИГРИ АК «Алмазы России—Саха»)

Изучение электрических и радиоволновых параметров кимберлитовмещающих мерзлых карбонатных пород и рудных образований Западной Якутии в комплексе с их компьютерной обработкой необходимо для существенной предварительной оптимизации радиоволнового межскважинного просвечивания и других геофизических методов, применяемых при поисках и разведке кимберлитовых тел [4, 5, 7, 8, 10, 11].

В данной работе приведены результаты измерений эффективного удельного электрического сопротивления $\rho_{эф}$, относительной диэлектрической проницаемости ϵ/ϵ_0 и коэффициента поглощения энергии радиоволн k карбонатных пород при температуре -10°C для поискового участка Перевальный Далдыно-Алаkitского района Западной

Якутии в диапазоне частот от 0,625 до 30 МГц. Измерения выполнялись экспресс-методом на естественно-мерзлом керне в процессе бурения скважин с применением специального устройства, снабженного кольцевыми электродами. Преимущество экспрессных измерений заключается в том, что они проводятся непосредственно на скважинах во время их бурения без предварительной обработки на камнерезных станках. Эти же измерения можно проводить и в лабораторных условиях на предельно насыщенный керне с использованием термостата отрицательных температур.

Измеряемые на мерзлом керне с помощью кольцевой установки электрические параметры наиболее приближены к естественным условиям залегания горной породы [9]. Методика

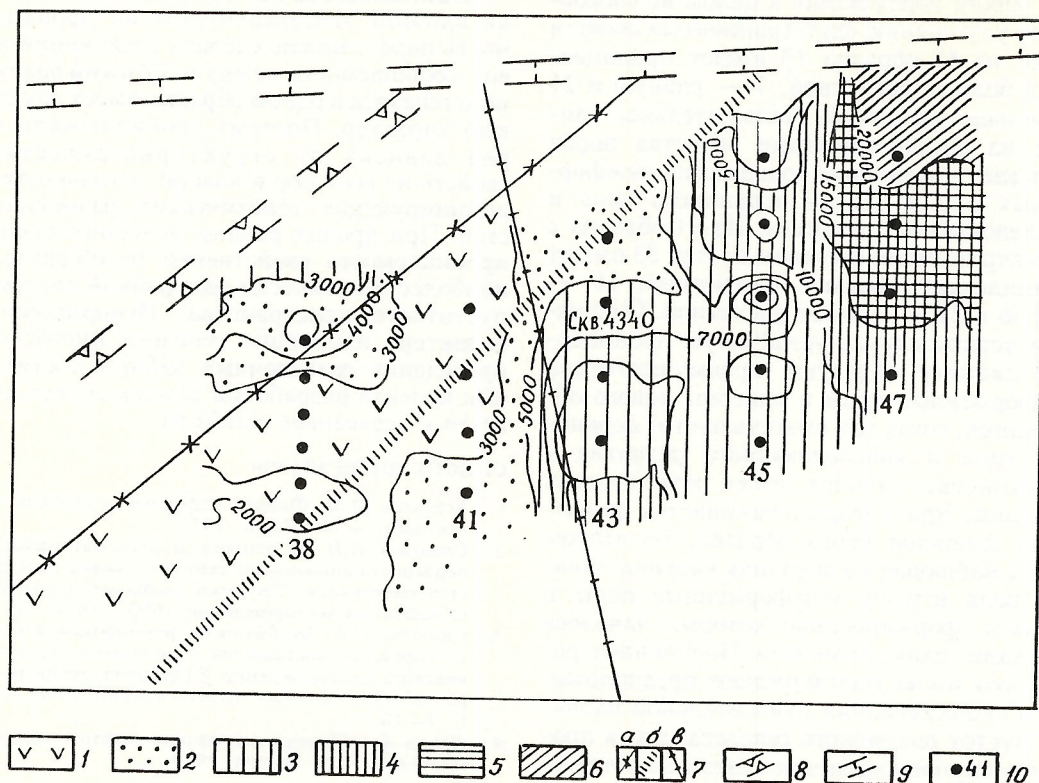


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема и распределение удельного электрического сопротивления пород O_{1ss} , участок Перевальный:

$\rho_{эф}$, Ом·м: 1 — < 3000, 2 — 3000—5000, 3 — 5000—10 000, 4 — 10 000—15 000, 5 — 15 000—20 000, 6 — > 20 000; 7 — структурные нарушения: а — ранне- и среднепалеозойские разрывные нарушения осадочного чехла и верхов фундамента по сейсмическим данным, б — по данным гравиразведки, в — позднеархейский внутриблоковый разлом кристаллического фундамента; 8 — эпицентральная зона региональных докембрийских разломов Далдыно-Оленекской рудной системы, активизированных в среднем палеозое, по гравимагнитным данным в фундаменте; 9 — субширотная зона разломов частично активизированных в среднем палеозое; 10 — поисковые профили и их номера

измерений электрических параметров на естественно-мерзлом керне описана в работе [6]. Исследования проводились в соответствии с разработками и внедрением методики петрофизических измерений мерзлых пород и метода межскважинного радиоволнового просвечивания при поисках кимберлитовых трубок в Западной Якутии [4, 9, 10].

Поисковый участок Перевальный площадью около 10 км² расположен в 8 км на северо-восток от кимберлитовой трубки Айхал в сложно построенной структурно-тектонической зоне. К его южной и северной границам близко примыкают зоны докембрийских региональных разломов субширотного простирания, а к западной — эпицентральная зона региональных докембрийских разломов Далдыно-Оленекской кимберлитоконтролирующей зоны. Поисковая площадь участка разделена субмеридиональным позднеархейским внутриблоковым разломом кристаллического фундамента на две части — западную и восточную. В западной

части проходят два среднепалеозойских разрывных нарушения осадочного чехла и верхов фундамента. В зоне этих нарушений вкрест и под углом к простиранию пройдены поисковые буровые профили 38 и 41. Восточная часть участка находится за пределами названных разломов и нарушений; здесь заложены три профиля — 43, 45, 47 (рис. 1).

Поисковый участок перекрыт трапповыми покровами мощностью до 100 м, характеризующимися средними значениями $\rho_{эф}$ 5600 Ом·м, ϵ/ϵ_0 33 ϵ_0 и k'' 0,2 Нп/м на частоте 0,625 МГц.* Траппы залегают на высокопроводящих терригенных породах каменноугольно-пермского возраста со следующими значениями петрофизических характеристик: $\rho_{эф}$ = 85 Ом·м, ϵ/ϵ_0 = 50 ϵ_0 и k'' = 0,2 Нп/м. Проводящие отложения выполняют роль слоя-экрана, препятствующего выносу энергии радиоволн по траппам

* Здесь и далее по тексту все электрические величины приведены для этой частоты.

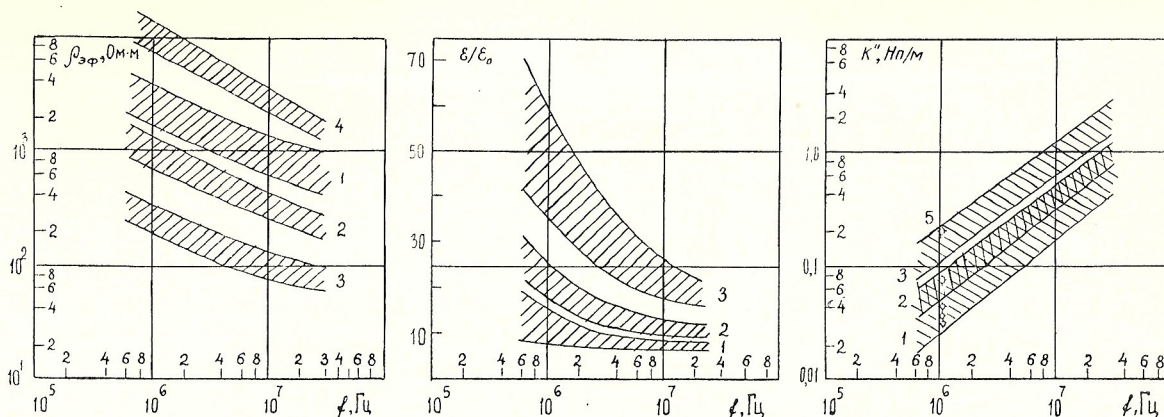


Рис. 2. Частотная зависимость удельного электрического сопротивления, относительной диэлектрической проницаемости и коэффициента поглощения карбонатных пород изучаемого участка в диапазоне частот 0,625—30 МГц:

1 — песчаные известняки O_{1ss} ; 2 — глинистые известняки O_{2-3kl} ; 3 — мергели O_{2-3kl} ; 4 — весьма прочные песчаные известняки O_{1ss} ; 5 — данные радиоволнового зондирования

при межскважинном радиопросвечивании [4, 10]. Геологические и тектонические особенности приведены по данным Амакинской ГРЭ. Глинистые породы кылахской свиты O_{2-3kl} залегают на карбонатных породах сахсоолхской свиты O_{1ss} , отличающихся весьма высокими $\rho_{эф}$ и являющихся рабочими интервалами при радиопросвечивании. Нами впервые предпринята попытка проследить изменчивость электрических и радиоволновых параметров карбонатных кимберлитовмещающих пород O_{1ss} в зоне тектонических разломов и за их пределами.

Обобщенные результаты измерений электрических и радиоволновых параметров карбонатных пород участка были получены по 280 образцам керна, отобраным из 20 поисковых скважин. Предельные значения $\rho_{эф}$, ϵ/ϵ_0 и k'' , измеренных перпендикулярно элементам слоистости в широком диапазоне частот, группируются в областях соответственно их составу и возрасту (рис. 2). Карбонатные породы различного состава, представленные известняками, песчанистыми известняками, доломитистыми известняками O_{1ss} , глинистыми карбонатными породами O_{2-3kl} и мергелями, отчетливо дифференцируются по значениям электрических параметров в диапазоне частот 0,625—30 МГц. Кроме того, электрические и ради-

оволновые параметры обладают весьма большой частотной дисперсией. Например, $\rho_{эф}$ и k'' в диапазоне частот 0,625—30 МГц изменяются более чем на порядок, а ϵ/ϵ_0 в 2—2,5 раза. Отметим, что наблюдаемая частотная дисперсия электрических параметров пород широко используется в электро-разведочных методах [10].

Абсолютные значения электрических параметров карбонатных горных пород O_{1ss} O_{2-3kl} для частот 0,625—5 МГц, необходимых при создании интерпретационных и поисково-прогнозных физико-геологических моделей, приведены в таблице.

Карбонатные породы ордовикской системы участка представлены мергелями, глинистыми известняками кылахской свиты, песчанистыми известняками сахсоолхской свиты. По измерениям на мерзлом керне из всех скважин поискового участка значения $\rho_{эф}$, ϵ/ϵ_0 , k'' на рабочей частоте радиопросвечивания 0,625 МГц находятся в пределах 200—400, 780—1600, 2000—4000 Ом·м, 40—70, 20—30, 12—18 ϵ_0 , 0,09—0,2, 0,044—0,07 и 0,02—0,04 Нп/м соответственно. В скважинах профиля 47, значительно удаленных от зоны разломов, $\rho_{эф}$ песчаных, весьма прочных известняков O_{1ss} достигает 12 000—18 000 Ом·м.

На рис. 3 проиллюстрировано распределе-

Предельные значения электрических характеристик мерзлых пород участка Перевальный в диапазоне частот 0,625—5 МГц

Породы, возраст	$\rho_{эф}$, Ом·м			ϵ/ϵ_0			k'' , Нп/м		
	0,625	1,5	5	0,625	1,5	5	0,625	1,5	5
Песчанистые доломитистые известняки O_{1ss}	9000—16 000	5800—10 000	3100—5100	10—7,8	8—7,4	8—7	0,007—0,004	0,011—0,007	0,042—0,026
Известняки O_{1ss}	2100—5200	1400—2600	800—1800	12—10	11—9	10—8	0,023—0,011	0,038—0,024	0,073—0,037
Известняки глинистые O_{2-3kl}	800—1700	580—1100	390—600	27—19	22—15	20—14	0,039—0,024	0,064—0,042	0,106—0,082
Мергели O_{2-3kl}	190—390	160—270	95—160	66—40	53—33	35—21	0,092—0,062	0,139—0,105	0,302—0,232

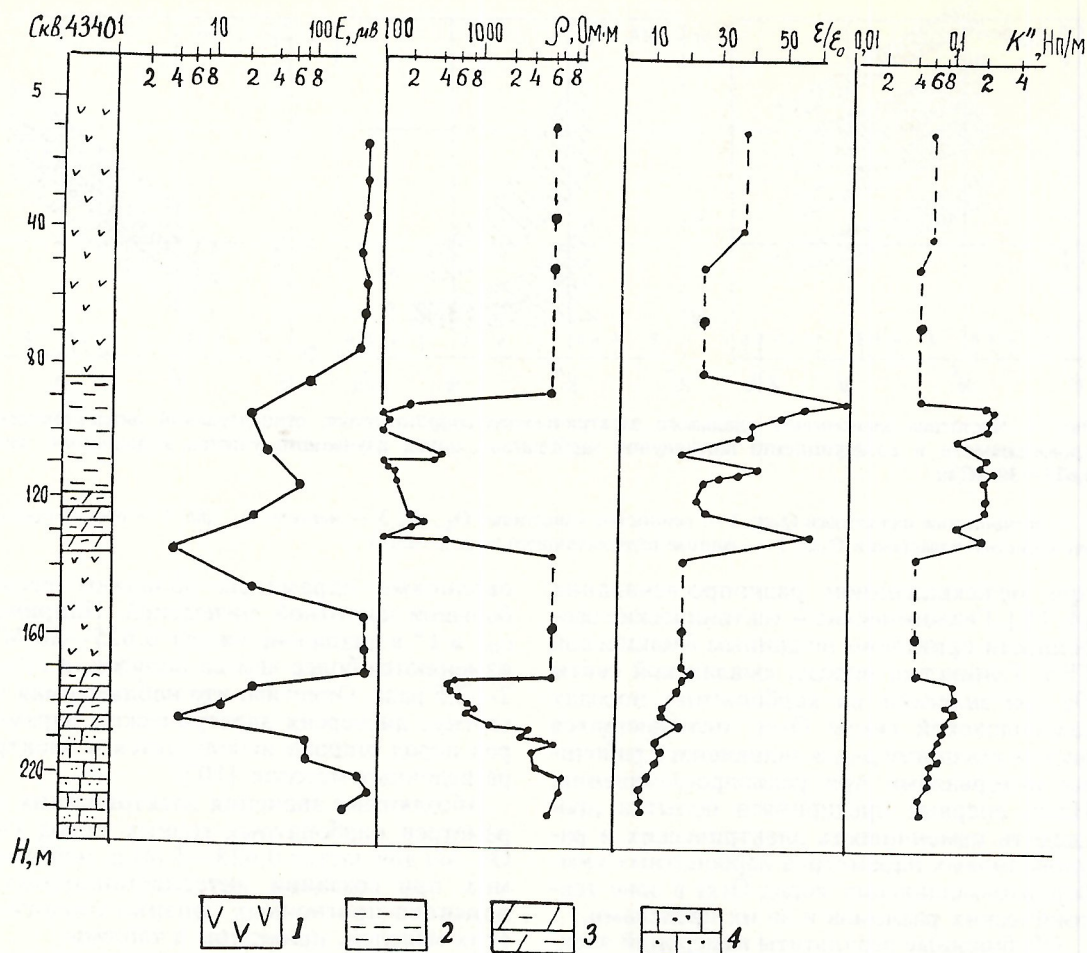


Рис. 3. Распределение напряженности электромагнитного поля при радиопросвечивании, удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости и коэффициента поглощения в перекрывающих и кимберлитовмещающих мерзлых породах изучаемого участка:

1 — траппы; 2 — пермские терригенные отложения; 3 — мергели O_2-3kl ; 4 — песчанистые известняки O_{1ss}

ние $\rho_{эф}$, ϵ/ϵ_0 , k'' и напряженности электромагнитного поля E в разрезе скв. 4340. Наблюдается хорошая корреляция между электрическими и радиоволновыми параметрами, полученными в результате измерений на мерзлом керне, и напряженностью поля, измеренной при односкважинном зондировании на частоте 1,25 МГц. Было также установлено, что предельные средние значения продольного коэффициента поглощения k'' карбонатных пород сахо-олюхской свиты для участка по односкважинному радиоволновому зондированию составляют 0,066—0,08 Нп/м, а по измерениям на мерзлом керне 0,06—0,098 Нп/м. По результатам радиоволнового просвечивания предельные (в скобках) и средние (за скобками) значения поперечного k'' песчанистых известняков O_{1ss} участка на частоте 0,625 МГц составляют 0,043 Нп/м (0,02—0,066), а по измерениям на керне — 0,038 Нп/м (0,024—0,056). Хорошее совпадение экспериментальных результатов полевых радиоволновых и лабораторных измерений на керне свидетельствует о надежности и до-

стоверности применяемых, дополняющих друг друга, методик.

Как показывают результаты измерений электрических и радиоволновых параметров, карбонатные породы O_{1ss} на участке Перевальный характеризуются различным $\rho_{эф}$. Геологическая среда восточной части участка, находящегося за пределами разломов, по буровым профилям 43, 45 и 47 отличается высокими предельными значениями $\rho_{эф}$ — 3500—9000, 3000—10 000, 2500—22 000 Ом.м соответственно (см. рис. 1).

Карбонатные породы O_{1ss} западной части участка (профили 41 и 38), расположенной от профиля 47 на расстоянии до 4,5 км, имеют более низкие значения $\rho_{эф}$ — 1900—3700 и 1900—3200 Ом.м. Самые низкие значения $\rho_{эф}$ свойственны карбонатным породам O_{1ss} профиля 38 (1900—3200 Ом.м). Кроме того, мергели и глинистые разности известняков O_2-3kl также имеют пониженные значения $\rho_{эф}$ (112—250 Ом.м) по сравнению с породами аналогичного состава профилей 43, 45 и 47 (115—800 Ом.м). При измерении электрических характеристик

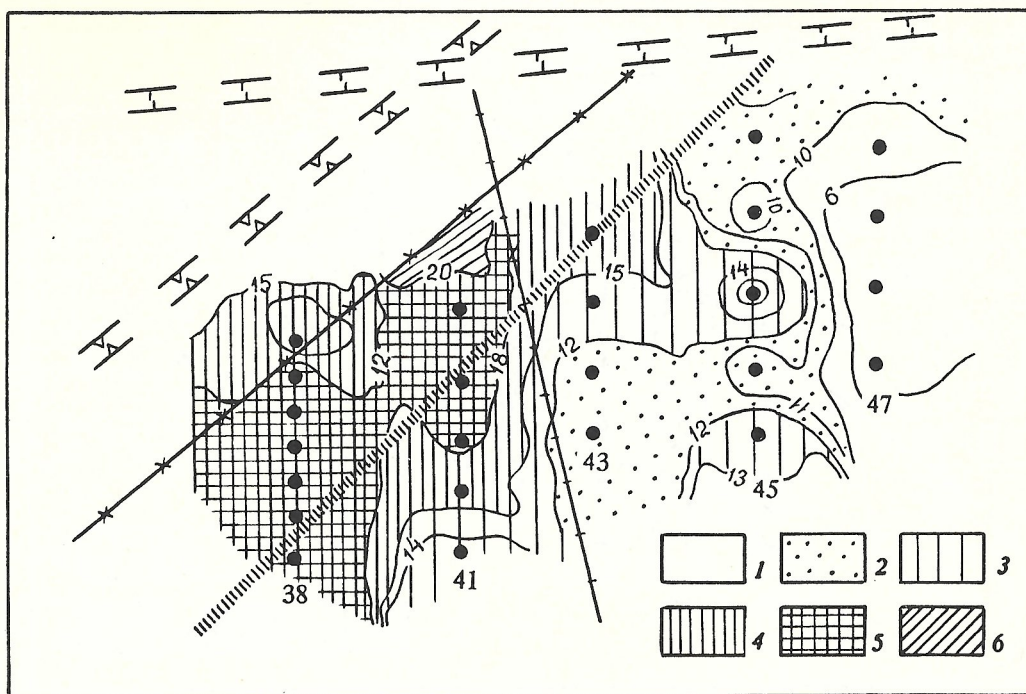


Рис. 4. Распределение относительной диэлектрической проницаемости пород O_{1ss} на изучаемом участке:

1 — < 10 ; 2 — 10—12; 3 — 12—15; 4 — 15—18; 5 — 18—20; 6 — $> 20 \epsilon_0$; остальные усл. обозн. см. рис. 1

карбонатных пород из скважин профиля 38 в керне наблюдались отчетливые следы интенсивных вторичных изменений (трещиноватость, раздробленность, заохренность с различной тональной окраской и др.), свидетельствующие о метасоматической проработке, связанной с разломно-тектоническими процессами. Следовательно, геологическая среда участка Перевальный в районе буровых профилей 38 и 41 находится в зоне влияния активных разломов, а геосреда сохолохской свиты в районе буровых профилей 43, 45, 47 с весьма высокими значениями $\rho_{эф}$ — за пределами разломных нарушений. Наблюдаемые аналогичные изменения петрофизических параметров кимберлитовмещающих карбонатных пород в околотрубном пространстве трубок Амакинская и Восток и в пределах региональных тектонических разломов участка Перевальный могут служить поисковым признаком при геофизических работах [7, 8]. В связи с этим экспрессные измерения петроэлектрических параметров на естественно-мерзлом керне необходимо комплексировать с работами поискового и разведочного бурения [10].

Для подтверждения указанных выше рекомендаций и выводов об особенностях площадного распределения электрических характеристик карбонатных пород в зоне разломов участка Перевальный был сформирован многофакторный петроэлектрический образ этого участка на основании анализа всех результатов измерений на мерзлом керне с применением специальной компьютерной программы [1]. В состав комплекса

проанализированных петроэлектрических характеристик входят эффективное удельное электрическое сопротивление, относительная диэлектрическая проницаемость и коэффициент поглощения радиоволн на частоте 0,625 МГц (см. рис. 1, 4, 5).

Все значения перечисленных физических характеристик предварительно подверглись геостатистической обработке для выявления направлений осей анизотропии в распределении каждого признака. Геостатистический анализ распределений каждого признака [2, 3] показал, что на данном участке отсутствуют четко выраженные анизотропия и тренд распределений физических характеристик по всей площади, а имеет место блоковая структура распределения каждого из электрических параметров. Это дало основание проводить точечный крайгинг. По результатам обработки были сформированы двумерные матрицы распределения каждого параметра по площади участка. Анализ матриц и построенных с их применением монопризнаковых планов распределения перечисленных электромагнитных свойств позволяет заключить следующее.

Распределение по площади измеренных электрических параметров имеет ярко выраженную блоковую структуру, обусловленную, по-видимому, наличием в осадочном чехле и верхах фундамента участка Перевальный позднекембрийских и среднепалеозойских разрывных нарушений, вдоль которых происходили горизонтальные подвижки (рис. 6; см. рис. 1, 4, 5).

Наблюдается четкое разделение карбонатных пород O_{1ss} по удельному электриче-

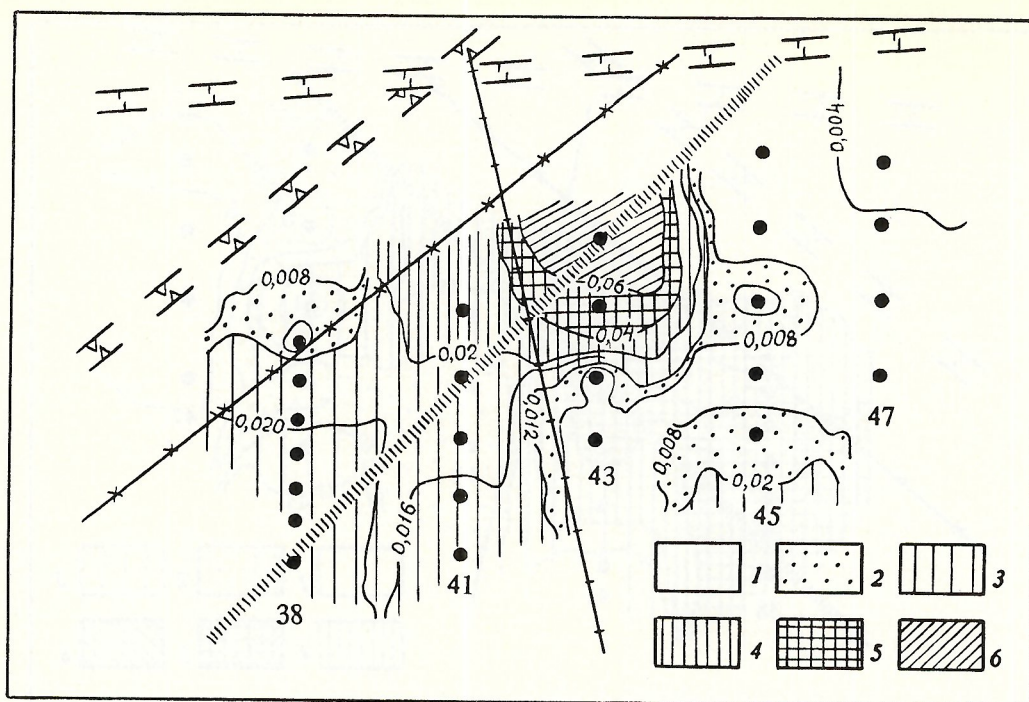


Рис. 5. Распределение коэффициента поглощения энергии радиоволн карбонатных пород O_{1ss} на изучаемом участке:

1 — $< 0,008$; 2 — $0,008—0,012$; 3 — $0,012—0,020$; 4 — $0,020—0,040$; 5 — $0,040—0,060$; 6 — $> 0,060$ Нп/м; остальные усл. обозн. см. рис. 1

скому сопротивлению и радиоволновым параметрам на частоте $0,625$ МГц вдоль меридионального разлома, проходящего через середину участка (см. рис. 1, 4—6).

Кроме того, созданный на основе монопризнаковых планов многофакторный образ участка Перевальный позволяет выделить в его средней части изометрическую структуру с зональным распределением ассоциаций изученных петроэлектрических свойств карбонатных пород O_{1ss} . Здесь, от центра структуры к краям, наблюдаются следующие ассоциации электрических свойств горных пород (см. рис. 6):

1) в центре структуры выделяется ассоциация высоких значений $\rho_{эф}$ и низких ϵ/ϵ_0 и k ;

2) к центральной непосредственно примыкает, окружая ее, подковообразная ассоциация высоких и средних значений $\rho_{эф}$ и k и низких ϵ/ϵ_0 ;

3) далее к периферии, приближаясь к зоне разломов, располагается ассоциация высоких (относительно среднего по данному участку) и средних значений $\rho_{эф}$, ϵ/ϵ_0 и k .

Незамкнутость структуры с юга и востока обусловлена, вероятно, влиянием зоны тектонических разломов и, возможно, малым количеством наблюдений. Однако выявленная зональность распределения ассоциаций электрических свойств от центра к периферии поискового участка, схожая с ранее установленной нами зональностью ассоциаций петрофизических параметров вокруг кимберлитовых трубок Восток и Амакинская, позволяет с некоторой вероятностью

предполагать наличие здесь многочисленных физических предпосылок (обусловленных, по нашему мнению, магматогенно-тектоническими причинами) для обнаружения кимберлитового тела или туфовых образований трубчатого типа. К интересным особенностям данного участка следует отнести также приуроченность непосредственно к разломам ассоциации пониженных значений $\rho_{эф}$ и повышенных — ϵ/ϵ_0 и k . Выявленную ассоциацию с аномальными значениями электрических параметров можно объяснить метасоматической проработкой карбонатных пород O_{1ss} с выделением в них по трещинам дробления вторичных минеральных веществ с железистыми гидроксидами, сильно поляризующихся в переменных электромагнитных полях.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Латеральное распределение петроэлектрических свойств кимберлитовмещающих карбонатных пород сохолохской свиты нижнего ордовика на поисковом участке Перевальный определяется магматогенно-тектоническими процессами.

Низкие значения удельного электрического сопротивления карбонатных пород характерны для западной части участка Перевальный, для зоны пересекающихся тектонических разломов, а весьма высокие — для участка, находящегося за пределами тектонических разломов.

В средней части поисковой площади, примыкающей к пересечению разломов, на многофакторном образе выделяется изометриче-

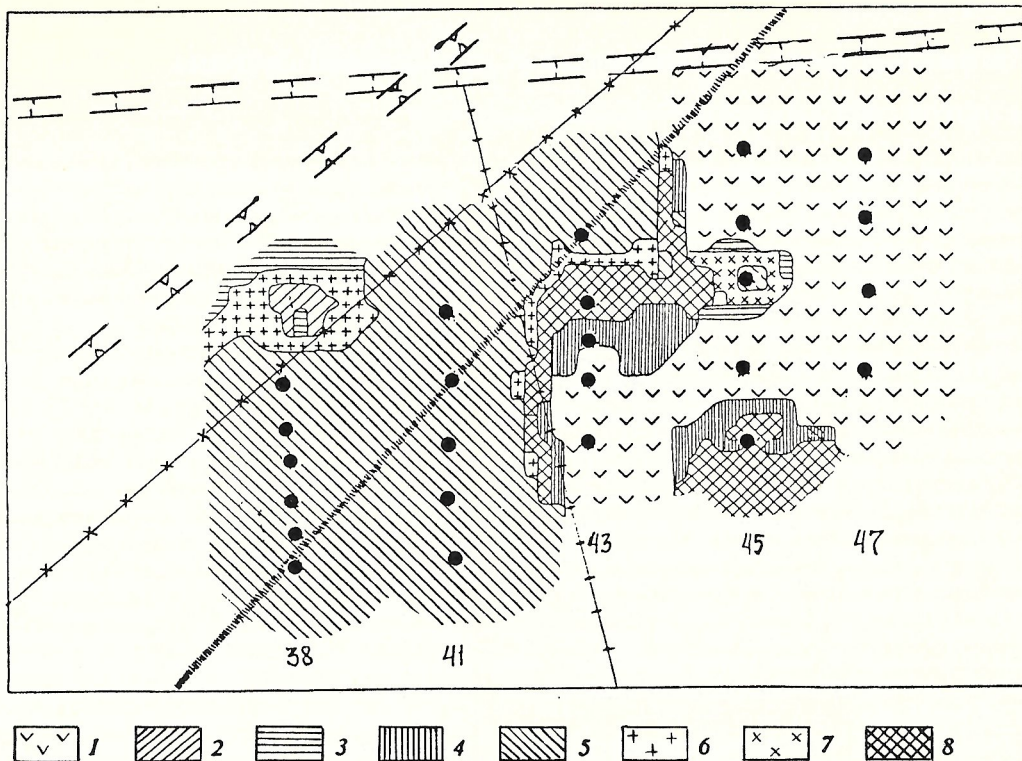


Рис. 6. Многофакторный (многопризнаковый) образ распределения областей ассоциаций физических свойств карбонатных пород O_{jss} на поисковом участке:

1 — область весьма высоких $\rho_{эф}$ и низких ϵ/ϵ_0 , k'' ; 2 — пониженных $\rho_{эф}$ и высоких ϵ/ϵ_0 , k'' ; 3 — высоких и средних $\rho_{эф}$, ϵ/ϵ_0 и низких k'' ; 4 — высоких $\rho_{эф}$ и низких ϵ/ϵ_0 и k'' ; 5 — высоких ϵ/ϵ_0 , k'' и низких $\rho_{эф}$; 6 — высоких и средних ϵ/ϵ_0 , k'' и низких $\rho_{эф}$; 7 — пониженных $\rho_{эф}$ и высоких ϵ/ϵ_0 и k'' ; 8 — относительно высоких и средних $\rho_{эф}$ и низких ϵ/ϵ_0 и k'' ; остальные усл. обозн. см. рис. 1

ская структура, параллельная зоне разломов с зональным распределением ассоциаций петроэлектрических параметров, характерных для трубочных структурных построений, что может служить предпосылкой для обнаружения здесь кимберлитовых трубок [8, 9].

Важно отметить, что длинная ось изометрической структуры находится в створе длинной оси эллипса, очерчивающего контур кимберлитовой трубки Айхал, возможно, указывающей на трассирование в этом направлении тектоно-магматической рудной зоны.

Авторы выражают благодарность А.Д.Петровскому, Н.В.Любимову, А.В.Герасимчуку, Ю.Д.Ковалеву, И.И.Микоеву, А.С.Фролову за помощь и внимание к работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.Ю., Бондаренко А.Т., Ковалев Ю.Д. Опыт многокомпонентного картирования физических свойств горных пород для выявления кимберлитовой трубки «Восток» Якутии // НТД-92-ЦНИГРИ. Материалы научно-практической конференции, 12 мая 1993 г. М., 1993. С. 60.
2. Абрамов В.Ю. К изучению неоднородности строения геологических объектов с помощью автокорреляционной функции // Геолого-геофизические минерало-геохимические исследования, разведка и обогащение минерального сырья месторождений цветных, благородных металлов и алмазов: Тез. докл. ЦНИГРИ. М., 1989. С. 46—47.
3. Абрамов В.Ю. Метод вычислительного гридирования первичных геологоразведочных данных для картирования рудных тел сложной формы // Руды и металлы. 1993. № 3—6. С. 40—43.
4. Бехтерева М.С. Некоторые результаты опробования радиоволновых скважинных измерений при поисках кимберлитовых трубок под траппами // Тр. ЦНИГРИ. М., 1978. Вып. 137. С. 76—82.
5. Бондаренко А.Т. Исследование электрических параметров карбонатных пород и кимберлитов Дально-Алактитского района Якутии применительно к задачам радиопроосвещения // Тр. ЦНИГРИ. М., 1981. Вып. 156. С. 84—91.
6. Бондаренко А.Т., Ковалев Ю.Д., Стогова В.А. Устройство и методика экспрессных измерений электрических параметров горных пород на естественно-мерзлом керне // Тр. ЦНИГРИ. М., 1988. Вып. 222. С. 53—60.
7. Бондаренко А.Т., Борис Е.И., Стогова В.А. Латеральные изменения электрических свойств кимберлитовмещающих осадочных пород Западной Якутии // Геология и геофизика. 1995. № 3. Т. 36. С. 119—125.
8. Бондаренко А.Т., Пыстин А.Б. Петрофизические свойства карбонатных и магматических пород и их использование при поисках кимберлитовых трубок // Руды и металлы. 1995. № 1. С. 69—71.
9. Бондаренко А.Т., Ковалев Ю.Д., Стогова В.А. Физические свойства карбонатных пород Западной Якутии по данным измерений на естественно-мерзлом керне // Геология и геофизика. 1989. № 7. С. 121—128.
10. Петровский А.Д. Радиоволновые методы в подземной геофизике. — М.: Недра, 1971.
11. Харьков А.Д., Зуенко В.В., Зинчук Н.Н. и др. Петрохимия кимберлитов. — М.: Недра, 1991.

Принята редколлегией 25 марта 1996 г.

Магнитный ореол гидротермальной колчеданной системы

Г.В.ПЕТРОВ (АОЗТ Уральской геологосъемочной экспедиции)

Ореолы метасоматически измененных пород вокруг колчеданных месторождений служат поисковым признаком с момента первых открытий. В настоящее время зоны метасоматоза колчеданных систем детально изучены и могут быть сгруппированы в колонну по степени «отгонки» железа из центральных зон (от руды): серицитовая, хлоритовая, эпидотовая, гематитовая, магнетитовая. Известен ряд более удаленных зон метасоматоза, но они выявляются только аналитически: следующая — зона «спилитизации» (Т.Н.Сурин, 1993). Все зоны от серицитовой до магнетитовой достаточно легко выделяются визуально и с помощью стандартного комплекса исследований. В процессе поисков роль магнетитовой зоны в настоящее время незначительна, зона не оформлена (не «созрела») до уровня признака, в связи с чем магниторазведка при поисках колчеданов используется недостаточно эффективно.

Установлено, что одному проценту рассеянного в породе магнетита соответствует магнитная восприимчивость, равная $150 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, и напряженность магнитного поля 500 гамм. Содержание магнетита в пределах магнитного ореола может быть значительно (на порядок) более высоким, а зафиксированная магнитная восприимчивость пород (основного состава) достигает $1,2—1,5$ тыс. $\cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Таким образом, магнитный ореол легко улавливается рядовой магнитной съемкой, а магнетит определяется при внимательном (целенаправленном) изучении обнажений, а затем шлифов. При благоприятных условиях участки с содержанием около 1 % (и более) магнетита (магнитный ореол) могут быть выделены с помощью геологического компаса непосредственно в поле.

Магнитные свойства пород, вмещающих колчеданы, давно привлекают внимание исследователей. Так, еще Л.Дюпарк указал на магнитные особенности метасоматитов, вмещающих Дегтярское месторождение. В 60-х годах Е.Б.Бельтеновой выделены цепочки слабых точечных аномалий в рудных полях колчеданных месторождений Кировградского района на Среднем Урале. Возможность использования магнитных свойств пород при поисках колчеданов на Урале изучалась в это же время А.М.Перцелем, В.В.Борякиным, а затем Т.В.Дедышевой, А.А.Степановым. В 70-х годах повышенная магнитность выклинок колчеданных тел отмечена А.М.Прутьяном при разведке Ново-Шемурского месторождения на Северном Урале.

В результате пересчетов данных химического анализа пород по методу В.А.Рудника И.И.Зенков в 1973 г. определил наложен-

ный характер магнетитовой минерализации в магнитных ореолах Светлоречинского и Глубочинского рудопроявлений в Полевском рудном районе. В 1977 г. Н.Ф.Холодилова обратила внимание на места, где наблюдается пониженное магнитное поле, окруженное высокими значениями в Тарньерско-Шемурском рудном районе на Северном Урале. В 1978 г. в сборнике «Рудоносные метасоматические формации Урала» опубликовано краткое сообщение А.П.Наседкина, А.А.Иванова и С.А.Костромкина «Магнитные свойства метасоматических пород как поисковый признак скрытого колчеданного оруденения». Говоря о возможности использования «нового» поискового признака, авторы не дают рекомендаций для поисков, не упоминают о практическом использовании и, главное, не применяют этот признак при проведении собственных работ в Дегтярско-Полевском районе, на материалах которого сделано сообщение.

Для изучения магнитного ореола колчеданных систем нами проанализированы многочисленные данные по месторождениям и рудопроявлениям Урала. Отстроено 38 разрезов по Дегтярскому, Чусовскому, Пьянко-Ломовскому, Шемурскому, Ново-Шемурскому месторождениям и ряду рудопроявлений. Установлено наличие магнитного ореола во внешнем пространстве уральских колчеданных систем, получены характеристики внутреннего строения и параметры распространения ореола в пространстве.

На Среднем Урале в условиях моноклиального строения и сильного расщепления рудных полей ореол значительно деформирован (резко удлиннен), на Южном и Северном Урале при горизонтальном залегании — субизометричен. Размеры ореола зависят от количества и длительности (интенсивности) циклов гидротермальной проработки (многоярусности — при гидротермально-осадочном способе образования).

Наблюдаемые отхождения ореола от рудного тела по восстанию, простиранию и падению в деформированных (первично расщепленных) колчеданных системах среднеуральских месторождений составляют 50—700 м, его протяженность до 1000 м, вкост простирания в лежащем боку 0—130 м при мощности до 50 м, в висячем — 20—250 м при мощности до 300 м (рис. 1). Удаление гематитового и магнетитового ореолов в мощных долгоживущих системах южноуральских рудных полей наблюдалось в висячий бок и по латерали и оказалось сопоставимым в этих направлениях с максимальными значениями — 1,5—2 км. В многоярусных рудных полях в строении оре-

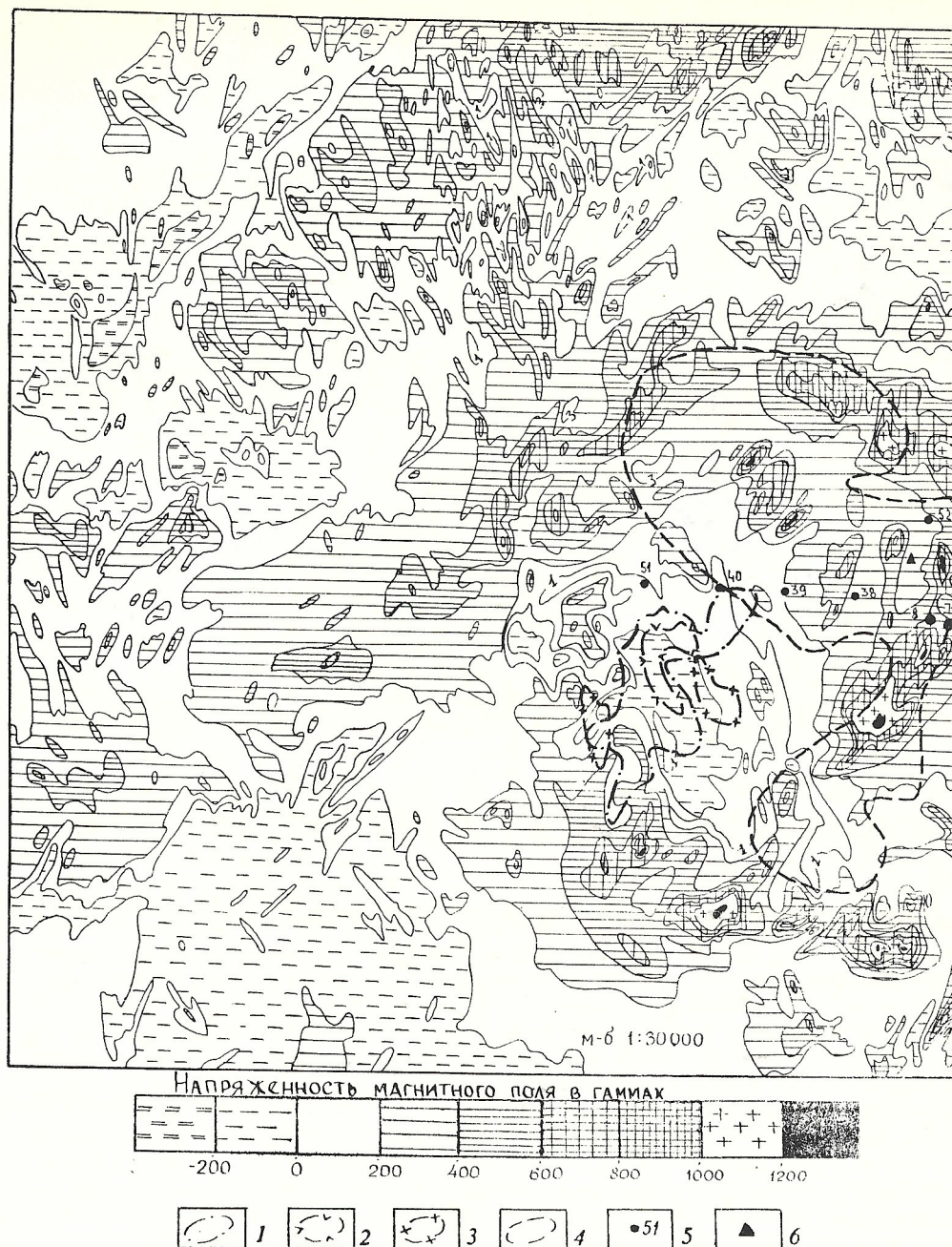


Рис. 1. Строение магнитного ореола гидротермальной колчеданной системы:

1 — кремнистые сланцы; 2 — песчаники, алевролиты; 3 — известняки, конглобрекции; 4 — порфириты; 5 — туфы порфиритов; 6 — андезиты; 7 — риолиты; 8 — базальты миндалекаменные; 9 — магнетит; 10 — гематит; 11 — эпидот; 12 — хлорит; 13 — серицит и рассланцевание; 14 — вкрапленность сульфидов; 15 — рудные тела

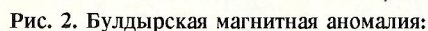
ола могут присутствовать вертикальные (секущие) элементы.

Измеренная магнитная восприимчивость ореола в кислых породах $(5-90)10^{-5}$ ед. СИ (до 550 ед. СИ на Северном Урале) и $(0,1-1200)10^5$ ед. СИ — в основных породах рудоносной и перекрывающей толщ.

На плане изодинам (в зависимости от глубины среза) наиболее перспективные зоны концентрации и разгрузки системы выражаются в виде сильно- (Средний Урал) или слабodeформированного (Южный и Северный Урал) эллипса положительных значений, линейной (Средний Урал) или пло-

щадной (Южный и Северный Урал) положительной аномалии (при погруженной системе). Для выделения слабых ореолов в кислых породах необходима отстройка поля по плану пикетов с наблюдаемыми значениями напряженности. При этом изодинамы проводятся через 5—10 гамм.

Протяженные линейные аномалии магнитных ореолов сланцевых зон обычно интерпретируются дайками основных пород, и даже наиболее яркие эллиптические аномалии участков предполагаемого накопления и разгрузки рудоносных растворов в рудных районах Урала до сих пор внимания для



В контуре внутренней ступени выявлены положительная гравиметрическая аномалия напряженностью 0,4 (до 0,6) мГал, размером $0,7 \times 0,4$ км, и аномальное поле вызванной поляризации напряженностью 3—5 % на площади около 1 км². Несколько подобных аномальных участков поля вызванной поляризации обнаружено и внутри большо-

го эллипса. Гравиметрическое поле в целом антикордантно магнитному.

Вся аномальная эллиптическая зона приурочена к субгоризонтально залегающим андезиоидам перекрывающей толщи венлокского возраста, под которой залегает рудовмещающая риолит (липарит)-базальтовая толща ландовери. Внутри аномальной зоны в 60-х годах было пробурено семь мелких скважин, вскрывших эпидотизированные и гематитизированные андезиты со значительными интервалами хлоритизации и серицитизации с вкрапленностью сульфидов. В делювии над внешним эллипсом в разрезе скв. 8 обнаружена песчано-глинистая масса черного цвета (на магнетит керн не исследовался). В разрезе самой глубокой скв. 38 (254 м) отмечается значительное увеличение серицитизации пород с глубиной.

Внутри аномальной зоны шурфами вскрыты два участка сильного изменения андезитов: северный площадью $1,3 \times 1,3$ км, представленный глинистой массой характерной красной окраски с монтмориллонитом и галлуазитом; южный площадью $1 \times 0,4$ км, представленный метаморфизованными андезитами. В глинах повсеместно встречаются обломковидные стяжения (обломки) железистого состава. Участки соединены друг с другом узкой полосой измененных андезитов и ограничены контурами внешнего кольца, повторяя его форму. Скальные выходы горы Булдырь, расположенной вблизи восточной границы аномальной зоны, сложены сильно гематитизированными вторичными кварцита-

ми. Сохранились остатки двух старинных железных рудников, разрабатывавших гематитизированные породы.

Геолого-геофизические данные характеризуют Булдырскую аномалию как потенциально рудоносную многоциклическую гидротермальную колчеданную систему с линейным «рудоподводящим каналом» и развившейся на нем эллиптической зоной концентрации и разгрузки рудоносных растворов. Местоположение возможного оруденения определяется положительной гравиметрической и электрометрической аномалиями. При этом глубина залегания плотного объекта может быть небольшой, а объем значительным.

Приведенные материалы свидетельствуют о возможности оперативного выделения перспективных для поисков месторождений колчеданных систем, что сокращает время и стоимость проведения работ.

Магниторазведка — единственный экспресс-метод, чувствительный к относительно небольшим содержаниям магнетита, образующимся в процессе метасоматоза, в т.ч. при возникновении и становлении гидротермальных колчеданных систем. Высокоточные магнитные исследования для поисков колчеданов на Урале необходимо проводить с поверхности и в скважинах как важнейшее звено поисковых работ.

Принята редколлегией 30 октября 1995 г.

Геоэкология

УДК 55:577.4

© Е.Н.Черемисина, М.В.Кочетков, О.И.Ларикова, 1996

ГИС-технологии при составлении электронных геоэкологических карт

Е.Н.ЧЕРЕМИСИНА (ВНИИГеосистем), М.В.КОЧЕТКОВ (Роскомнедра), О.И.ЛАРИКОВА (ВИЭМС)

Основная часть информации, используемой для решения геоэкологических задач, как правило, представлена в картографической форме. В то же время все объекты, по которым решаются разнообразные задачи, описываются набором интерпретационных формальных характеристик, хранимых в фактографических базах данных. Таким образом, функциональное содержание любой прикладной системы должно включать инструментальный совместный ведения картографических и фактографических баз данных. Наиболее приемлемой формой реализации технологии является географическая информационная система (ГИС), определяющаяся как программно-аппаратный комплекс, способный вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Структура ГИС, как правило, включает четыре обязательные подсистемы:

ввода данных, обеспечивающую ввод и (или) обработку пространственных данных, полученных с карт, материалов ДЗЗ и т.д.;

хранения и поиска, позволяющую оперативно получать данные для соответствующего анализа, актуализировать и корректировать их;

обработки и анализа, которая дает возможность оценивать параметры, решать расчетно-аналитические задачи; представления (выдачи) данных в различном виде (карты, таблицы, изображения, блок-диаграммы, цифровые модели местности и т.д.).

К настоящему времени в мировой и отечественной практике накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации ГИС, обладающих функциями ввода, хранения, обработки, анализа, представления и получения данных, имеющих пространственную привязку, и предназначенных для компьютерных технологий решения задач геологии, геофизики, экологии, землепользования и др. Более 500 различных систем эксплуатируются или находятся в стадии разработки.

Существующая проблемная ориентация ГИС разнообразна и позволяет решать широкий круг задач, связанных с обработкой пространственных данных, в частности для решения геоэкологических задач.

Наиболее распространенные зарубежные ГИС, такие как ARC/INFO, ArcView2, Intergraph MGE, Map/Info, WinGIS, WinMAP и др., реализуют более или менее полный комплекс средств для решения задач землепользования, управления лесными ресурсами, го-

родским хозяйством и пр., поддерживают высококачественный вывод на твердую копию. Однако большая часть их не имеет специализированной ориентации и обеспечивает некоторый базовый набор ГИС-функций, многие из них имеют в арсенале средства программирования, макроязыки и т.п. Цена таких систем весьма высока и часто превышает стоимость используемого компьютерного оборудования. За редким исключением системы не русифицированы, и этого трудно ожидать при отсутствии сколько-нибудь заметного объема продаж (речь не идет о системах САПР).

Отечественные разработки в силу известного отставания в области компьютеризации народного хозяйства характеризуются меньшей интегрированностью, большей ориентацией на персональные компьютеры, чем на рабочие станции и специальную аппаратуру. Тем не менее ряд отечественных подходов в развитии электронной картографии не уступает зарубежным методикам, и можно говорить о значительном числе разработок программных систем для решения задач, не обладающих всеми формальными признаками ГИС.

Все отечественные системы ориентированы на платформу IBM PC и отличаются не очень высокими аппаратными требованиями.

Широко распространенным ГИС-продуктом общего назначения является GeoGraph/GeoDraw (Центр геоинформационных исследований ИГ РАН). Система работает на PC-совместимых компьютерах под управлением DOS (GeoDraw) и Windows (GeoGraph). GeoDraw широко используется для цифрования карт в системе Роскомнедра. GeoGraph — система типа ArcView, но без средств разработки приложений.

Среди геологических организаций в последнее время значительно распространена система ГИС ПАРК (М.А. Белобородов и др., ТОО «Ланэко»). Будучи коммерческим продуктом, тем не менее, внедрение системы происходило преимущественно административным путем (более 70 копий), поэтому широкое распространение еще не доказывает ее высоких потребительских свойств.

Система ориентирована преимущественно на решение задач геологического картирования и прогноза месторождений полезных ископаемых. Чрезмерная ориентация на прогнозирование сказывается на возможной широте применения системы. Если коммерческие многоцелевые ГИС не имеют средств расчета специализированных характеристик, то в ГИС ПАРК предоставляет преимущественно прогнозные характеристики, а выполнение стандартных запросов затруднено.

Интересным продуктом ГИС является СИНТЕКС/ТРИ (ТРИСОФТ), разработанный специалистами Научного Центра РАН в г.Троицк, широко применяемый для геологического и топографического картирования (предприятие «Геосинтез»). Система векторная, поддерживает ввод с различных дигитайзеров. В качестве подложки может быть использован растр, в т.ч. цветной (16 цветов). Имеются растровый и векторный редакторы, средства импорта (экспорта). Высокоэффективный многооконный интерфейс создает значительные удобства для работы пользователя. В качестве базы данных используются файлы формата DBF, расширенный для хранения картинок в формате PCX.

Информация организована в виде слоев, свободно накладывающихся друг на друга. Поддерживается поиск и селекция по атрибутивной информации, которая может являться отдельным слоем. Осуществляется вывод на плоттеры.

Поддерживается система Гаусса—Крюгера, однако неясно, производится ли при этом трансформации растровой подложки, в противном случае, географическая привязка векторной информации отсекает растр. К сожалению, отсутствуют средства программирования или макроязык.

Много информационно-поисковых систем создается для потребностей экологии, городского хозяйства, землепользования, управления. Их отличают закрытость (изготовление «под ключ»), ограниченность типов атрибутивной информации, отсутствие поддержки подключения пользовательских задач. Также не развит среди отечественных систем качественный вывод твердых копий.

Система программных средств GWM (Ground Water Monitoring — мониторинг подземных вод, СП «ГЕОСОФТ-ИСТЛИНК») для ведения Государственного мониторинга подземных вод предназначена для

ввода, хранения и обработки данных по показателям, характеризующим состояние подземных вод и техногенные процессы, протекающие в подземной гидросфере, а также по показателям других компонентов окружающей среды, влияющих на состояние подземных вод. GWM рекомендован Роскомнедра для внедрения в Территориальных Центрах мониторинга Российской Федерации.

В качестве дополнительных аналитических модулей поставляются следующие продукты:

модуль GWFS (Ground Water Flow Simulation — моделирование фильтрации подземных вод) предназначен для решения гидрогеологических задач, связанных с анализом и прогнозом движения подземных вод;

модуль MTS (Mass Transport Simulation — моделирование массопереноса) предназначен для решения гидрогеологических задач массопереноса растворимых примесей в подземных водоносных пластах;

модуль OWFS (Oil-Water Flow Simulation — моделирование фильтрации водонефтяной смеси) предназначен для решения гидрогеологических (геоэкологических) задач, связанных с анализом и прогнозом фильтрации водонефтяной смеси (углеводородных загрязнений) в подземных водоносных пластах.

Данная программная система — узкоспециализированная, ориентированная на определенный класс задач. Тем не менее ряд функций близки к ГИС-системам, что позволяет (наряду с ГИС ПАРК) отметить ее в настоящей статье.

Ведущим отечественным продуктом в области решения прогнозных задач с привлечением пространственной информации (в т.ч. в ГИС-оболочке) является ГИС ИНТЕГРО (ВНИИгеосистем). Основные подсистемы:

ввод и предварительная обработка (увязка) данных, в т.ч. пространственных как векторных, так и растровых, с последующей векторизацией (включает модуль преобразования проекций);

интерактивный человеко-машинный блок решения прогнозно-диагностических задач природопользования, включающий базу формальных знаний о постановке и решении задач этого класса и функционирующий в интеллектуальном графическом интерфейсе;

полнофункциональная ГИС-оболочка, позволяющая строить иерархически связанные проекты, включающие данные разного масштаба и интегрировать произвольные расчетно-аналитические модули (включая языки управления проектом);

модуль вывода твердых копий.

Система обладает высокой реактивностью при малых требованиях к оборудованию и персоналу. Общность принципов, заложенных в основание системы, позволяет решать с ее помощью задачи, относящиеся к обработке любых пространственно-привязанных данных.

На современном этапе развития рационального природопользования, геологии и геоэкологии в качестве перспективных направлений применения ГИС могут быть рассмотрены задачи моделирования и прогнозирования источников минерального сырья, динамики развития минерально-сырьевой базы и экологической ситуации территорий, экспертизы проектов и планов развития и размещения народнохозяйственных объектов в условиях природных, экологических и других ограничений для оптимизации использования природных ресурсов и выбора стратегии развития регионов. Основной формой представления результатов решения таких задач являются электронные карты, интегрирующие большие объемы картографической и фактографической информации.

Созданная во ВНИИгеосистем ГИС ИНТЕГРО обеспечивает ввод, обработку и интегрированный анализ разноуровневой геоинформации для составления электронных геоэкологических карт. Совместно с ВИЭМС на базе ГИС ИНТЕГРО проводятся работы по составлению карт экологических условий освоения минерально-сырьевой базы (МСБ) России масштаба 1:5 000 000.

Для районирования территории России по показателям, характеризующим состояние окружающей среды, составлены четыре рабочие карты (рисунок).

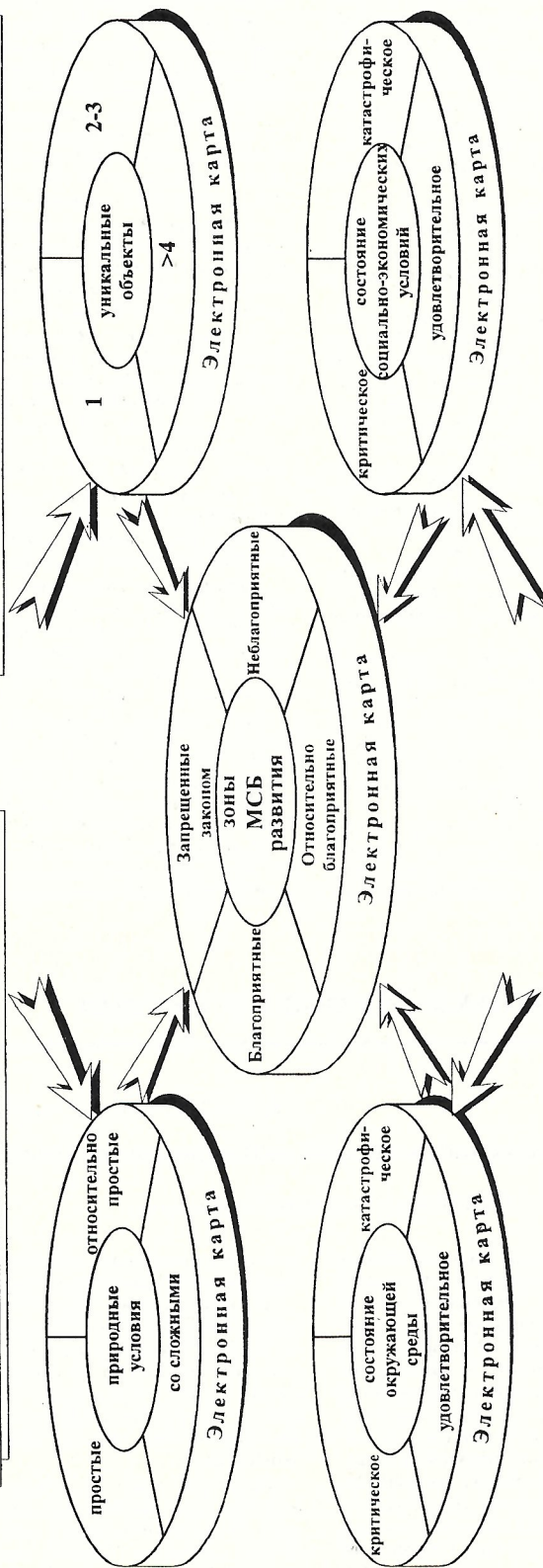
Карта минерально-сырьевой базы России содержит следующие слои: бассейны различных типов полезных ископаемых, 96 опорных месторождений с указанием основного полезного ископаемого, размера месторождения и степени его освоения, все горнодобывающие, горнообогатительные, горнометаллургические и горно-

Карта природных условий

- наличие многолетнемерзлых пород
- сейсмичность, лавино- и селеопасность территорий
- устойчивость геолого-геоморфологической основы ландшафта к механическим повреждениям земной поверхности
- пораженность экзотенными геологическими процессами

Карта уникальных и особо ценных природных ресурсов и объектов

- проектируемые заповедники
- охраняемые зоны городов
- уникальные озёрные системы
- чернорезы
- ягельные пастбища
- леса 1 группы
- бассейны рек с ценными породами рыб
- исчезающие виды растений и животных
- места проживания малочисленных народов
- зоны приоритетного природопользования



Карта антропогенных изменений окружающей среды

- техногенные земельные нарушения
- загрязнение почв
- деградация почв и лесных массивов
- города с наибольшим загрязнением атмосферы

Карта социально-экономических факторов

- плотность и естественный прирост населения
- онкозаболеваемость
- обеспеченность пресными подземными водами
- количество безработных

Схема создания электронных геоэкологических карт

химические предприятия, а также гидро-, тепло- и атомные станции, линии нефте-газопроводов.

Технология ГИС позволяет увидеть общую картину освоения минерально-сырьевой базы: оценить расстояния от месторождений до перерабатывающих предприятий, наличие или отсутствие источников электроэнергии, расстояния до существующих газо- и нефтепроводов и т. д.

Карта природных условий. Из множества геологических, географических и климатических факторов были выбраны основные факторы, которые могут оказать влияние на условия освоения месторождений и проведение геологоразведочных работ: наличие многолетнемерзлых пород (распространение сплошной и островной мерзлоты), лавино- и селеопасность территорий, сейсмичность и устойчивость геолого-геоморфологической основы ландшафта к механическим повреждениям земной поверхности.

Содержащая эти факторы электронная карта позволяет выделить на территории России зоны со сложными, относительно простыми и простыми природными условиями для освоения минерально-сырьевой базы и проведения геологоразведочных работ.

Карта уникальных и особо ценных природных ресурсов и объектов. В последние годы все большее внимание уделяется сохранению природных богатств России. Эта карта включает слои, содержащие проектируемые заповедники, охранные зоны городов, уникальные озерные системы, места распространения черномозгов и ягельных пастбищ, леса первой группы, бассейны рек с ценными породами рыб, ареалы произрастания исчезающих видов растений и места обитания исчезающих видов животных, а также места проживания малочисленных народов Севера и наличие зон приоритетного природопользования для них.

На обобщенной электронной карте выделяются зоны с одним или несколькими уникальными объектами и соответственно с различным уровнем необходимых природоохранных затрат.

Карта антропогенных изменений окружающей среды. На этой карте приведены земельные нарушения от различных видов деятельности человека, загрязнение почв (данные В.Н. Орлянкина, «Аэрогеология»), области деградации почв и лесных массивов, города с наибольшим загрязнением атмосферы. По совокупности факторов на карте выявлены территории с различным уровнем антропогенных нагрузок.

Карта социально-экономических факторов. На ней отражены факторы, отнесенные к субъектам федерации: плотность и естественный прирост населения, заболеваемость злокачественными новообразованиями

как показатель неблагоприятных условий жизни, обеспеченность населения пресными подземными водами, число безработных как фактор дестабилизации общества и первоочередная зона для развития минерально-сырьевой базы и снятия социальной напряженности. На сводной карте социально-экономических факторов выделены субъекты федерации с различными социально-экономическими условиями для развития МСБ.

На основе интегрированной обработки и анализа информации с учетом значимости отдельных показателей было проведено районирование территорий с выделением четырех основных зон.

1. Территории, благоприятные для развития МСБ (простые природные условия, отсутствие уникальных и особо ценных объектов, достаточная обеспеченность пресными водами и естественное или удовлетворительное состояние геологической среды).

2. Территории, относительно благоприятные для развития МСБ (относительно простые природные условия, единичные уникальные и особо ценные объекты, недостаточная обеспеченность пресными водами, напряженное и критическое состояние окружающей среды).

3. Территории, неблагоприятные для развития МСБ (сложные природные условия, наличие многочисленных уникальных и особо ценных природных объектов, кризисное и катастрофическое состояние окружающей среды).

4. Территории, где проведение геологоразведочных работ запрещено законом (заповедники, охранные зоны городов, охранный район оз. Байкал).

В результате проведенных работ получена итоговая электронная геоэкологическая карта, содержащая около 30 слоев — экологических характеристик, а также базу фактографических данных по 96 месторождениям.

Варьирование значимостью тех или иных показателей позволяет составлять экологические карты для разных типов полезных ископаемых (нефть и газ, цветные металлы, стройматериалы и т.д.), а также для различных способов отработки месторождений (скважины, шахты, карьеры).

Выполненные исследования позволяют при подготовке программы освоения МСБ России иметь полную информацию о всех условиях разработки месторождений, учитывать объективные сложности и необходимые дополнительные затраты, связанные с экологическими условиями. Кроме того, можно оценивать альтернативные варианты.

Система ГИС ИНТЕГРО — открытая, ее необходимо пополнять функциональными, информационными и технологическими модулями.

Геология и геофизика Мирового океана

УДК 551.46

© И.Н.Горяинов, В.Е.Казакова, А.С.Смекалов, 1996

Проецирование на поверхность океана выходов подводных гидротерм

И.Н.ГОРЯИНОВ, В.Е.КАЗАКОВА, А.С.СМЕКАЛОВ (ВНИИОкеангеология)

На дне Мирового океана имеются многочисленные гидротермальные поля, связанные с рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов, трансформными и внутриплитными разломами, структурами дуга — желоб и вулканическими постройками. В ряде случаев выходы гидротерм — «курильщики» — фиксируют участки дна, на которых формируются современные сульфидные тела. Кроме того, как показало изучение провинции Кларифон-Клиппертон в Тихом океане, наиболее богатые марганцем, медью и никелем железомарганцевые конкреции тяготеют к зонам с признаками проявления активной гидротермальной деятельности [10, 11]. Можно ожидать, что и в других регионах океана локальные участки с аномальным химическим составом конкреций приурочены к местам разгрузки гидротерм. Обнаружение таких гидротермальных по-

лей традиционными методами требует громадных материальных и временных затрат.

Если бы удалось установить, что гидротермальные поля, залегающие на глубинах 2—4 км и более, каким-то образом проецируются на поверхность океана, то к поискам этих полей и ассоциирующих с ними руд могли бы быть привлечены искусственные спутники Земли. Реализация такой технологии открыла бы перед исследователями океана принципиально новые возможности.

Наиболее вероятно предположить, что гидротермальные поля, расположенные на дне океана, отражаются на его поверхности в виде различных гидрохимических аномалий. Однако, что из себя должен представлять механизм, способный обеспечить такое отражение и «связывающий» дно с поверхностью?

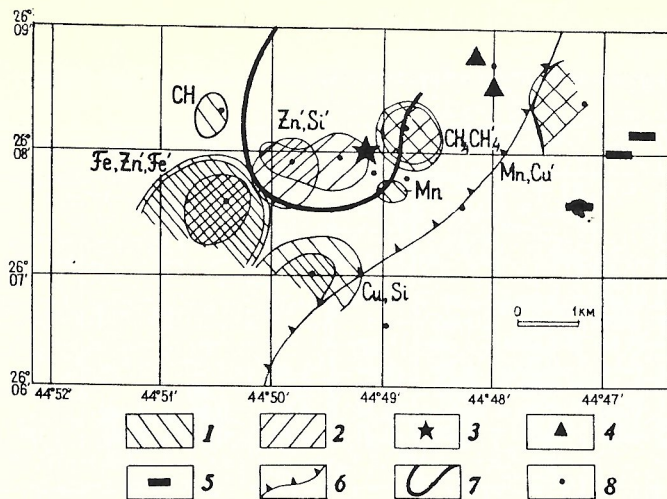


Рис. 1. Содержание Mn, Fe, Zn, Cu, Si, CH₄ в поверхностном микрослое (без штриха) и подповерхностном слое воды в районе гидротермального поля ТАГ в Атлантическом океане:

1 — аномалии содержаний компонентов в поверхностном микрослое; 2 — то же, в подповерхностном слое; 3 — активная рудная постройка — «курильщик»; 4 — неактивные рудные постройки; 5 — железомарганцевые корки; 6 — восточный борт рифтовой долины; 7 — придонная температурная аномалия; 8 — станции опробования

Основным процессом распространения веществ в океане является турбулентное, конвективное и молекулярное перемешивание. В стратифицированном океане распространение веществ за счет турбулентного перемешивания в вертикальном направлении происходит значительно медленнее, чем в горизонтальном. Коэффициент вертикального турбулентного обмена в 10^5 раз меньше коэффициента горизонтального обмена [6]. Это значит, что прежде чем компоненты гидротерм преодолеют расстояние 2—4 км до поверхности океана, они сместятся в плане от своего источника на многие тысячи километров. Следовательно, турбулентный обмен не способен обеспечить проецирование на поверхность океана выходов гидротерм, расположенных на его дне. В еще большей степени это относится к молекулярному обмену, коэффициент которого в 10^5 — 10^6 раз меньше коэффициента вертикального турбулентного обмена [6]. Конвективное перемешивание также следует исключить из рассмотрения, т.к. всплывающие воды даже наиболее горячих гидротерм — «курильщики» — уже на высоте первых сотен метров над поверхностью дна приобретают нулевую плавучесть, после чего конвективное перемешивание прекращается.

Единственный реальный механизм, способный обеспечить быструю передачу информации о химической обстановке на дне океана на его поверхность, — перенос различных компонент гидротерм газовыми пузырьками. Источником пузырьков служат сами гидротермы. Растворенные в них метан, углекислый газ, азот, водород, аргон, гелий, сероводород и другие газы выделяются при скачкообразном падении давления, связанном с выходом гидротерм на поверхность дна. Гидротермальные струи и порожденные ими турбулентные вихри быстро, со скоростью 1—5 м/с [7], выносят зародившиеся и не способные вначале к самостоятельному всплыванию пузырьки на высоту 200—400 м над поверхностью дна, способствуя, таким образом, их росту и предотвращая их схлопывание — коллапсирование. После этого пузырьки начинают всплывать самостоятельно.

Другая часть пузырьков возникает при гидродинамической кавитации, вызванной турбулентностью. Развитию процесса зарождения пузырьков способствуют всегда присутствующие в воде ядра кавитации [1], количество которых за счет частиц, взвешенных в гидротермальных плюмах [12], увеличивается на 2—4 порядка по сравнению с фоном.

И наконец, причиной появления газов, образующих пузырьки, могут быть транспортные химические реакции [4]. При этом образующаяся твердая частица играет роль ядра кавитации. Поскольку распад соединений, в виде которых осуществляется транспорт веществ в гидротермах, происходит при разной температуре, растворенные в гидротермах газы вскипают не одновременно, а состав и температура самих гидротерм эволюционируют во времени, следует ожидать, что серии (генерации) непрерывно выделяющихся пузырьков будут различаться как по собственному составу, так и по составу адсорбированных ими других компонентов гидротерм.

Необходимо отметить, что причиной появления на дне океана пузырьков могут быть не только гидротер-

мы, но также биологические процессы и мантийная дегазация через разломы. Однако их роль по сравнению с гидротермами представляется незначительной.

Элементарные расчеты показывают, что пузырьки диаметром 0,1—1 мм всплывают со скоростью 5—16 см/с и преодолевают глубину 4 км за 7—22 ч. Если принять среднюю горизонтальную скорость течения во всей толще воды равной 5 см/с, то удаление выходов пузырьков на поверхность океана от проекции их источника составит 1,25—4 км. В этих рассуждениях вектор течения подразумевается направленным строго от источника. Поскольку это условие вряд ли выполняется для всей 4-километровой толщи воды, удаление поверхностных ореолов от проекции «курильщика» должно быть еще меньшим.

Реальность рассмотренного механизма подтверждается прямыми наблюдениями.

В 1972 г. с борта советского научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта на глубине около 2500 м подводной фотокамерой был зафиксирован действующий термальный источник. Над поверхностью дна рифтового гребня фотокамера запечатлела спокойное, равномерное выделение пузырьков, а в нескольких десятках сантиметров от их выхода — стебельчатую лилию. Это могло свидетельствовать о том, что температуры вблизи выхода пузырьков, по-видимому, не велики [9]. Несколько лет эта фотография была единственной в своем роде. Как известно, активное поле горячих источников на Галапагосском хребте обнаружено лишь в начале 1977 г., а первая сульфидная залежь на Восточно-Тихоокеанском поднятии — в 1978 г.

К выводу о переносе ртути от дна до поверхности океана газовыми пузырьками пришли советские ученые, исследовавшие акватории Чукотско-Камчатского региона и западного сектора Тихого океана. В атмосфере над морской поверхностью ими были выявлены

1. Статистические характеристики компонентов

Компоненты $n = 24$	$\bar{x}$	min	max	σ	$\nu, \%$
Mn	16,02	6,53	34,56	7,53	47
Mn'	2,39	0,27	19,04	3,85	161
Fe	0,69	0,02	4,94	0,88	128
Fe'	0,18	0,03	1,02	0,23	128
Zn	103,67	19,90	433,18	78,52	76
Zn'	58,51	7,60	283,60	59,79	102
Cu	25,05	4,12	57,13	9,62	38
Cu'	6,33	1,01	26,99	5,29	84
Si	0,41	0,30	0,76	0,10	24
Si'	0,23	0,03	0,57	0,15	65
CH ₄	1,47	0,70	5,00	0,90	61
CH ₄ '	1,44	0,60	3,80	0,71	49

Примечание. Si, Fe в мг/л; Mn, Zn, Cu, Ni в мкг/л; CH₄, $\mu\text{л} \cdot 10^{-4}$ мг/л. $\bar{x}$ — среднее содержание компонента, min — минимальное, max — максимальное; σ — стандартное отклонение; ν — коэффициент вариации

2. Коэффициенты корреляции между содержанием компонентов поверхностного микрослоя и подповерхностного слоя

Компоненты	Mn	Mn'	Fe	Fe'	Zn	Zn'	Cu	Cu'	Si	Si'	CH ₄	CH' ₄
Mn	1,00											
Mn'	0,06	1,00										
Fe	0,13	0,20	1,00									
Fe'	-0,04	0,77	0,42	1,00								
Zn	0,03	0,22	0,87	0,42	1,00							
Zn'	0,09	0,55	0,05	0,63	0,04	1,00						
Cu	-0,04	-0,03	0,22	0,03	0,07	0,07	1,00					
Cu'	0,50	0,36	-0,10	0,32	-0,13	0,47	0,06	1,00				
Si	0,01	-0,12	0,00	-0,10	-0,14	-0,29	0,20	-0,01	1,00			
Si'	-0,41	-0,02	0,04	0,22	0,13	-0,08	0,00	-0,19	0,14	1,00		
CH ₄	-0,03	-0,18	0,10	-0,07	0,03	-0,26	-0,16	-0,12	-0,17	-0,24	1,00	
CH' ₄	-0,16	-0,14	0,10	-0,11	-0,03	-0,22	-0,26	-0,27	-0,12	-0,19	0,62	1,00

Примечание. $r_{95} = 0,40$, $r_{99} = 0,52$

ртутные ореолы, практически не смещенные от проекции на поверхность океана активных тектонических зон, расположенных на дне [2]. Вероятно, такую же природу имеют ореолы повышенных содержаний углеводородных и других газов в поверхностном и подповерхностном горизонтах водной толщи над подводными вулканами и гидротермами, в частности, в районе кальдеры горы Осевая, хребта Хуан-де-Фука [3].

Однако наибольший интерес представляет анализ содержаний различных компонентов в поверхностных водах над «курильщиками», формирующими в настоящее время рудные постройки. Такой эксперимент был поставлен в 1988 г. советскими учеными из Одесского университета на научно-исследовательском судне «Антарес». Под руководством Г.Г.Ткаченко проведены исследования в Атлантическом океане в районе гидротермального поля ТАГ. На полигоне была отобрана серия двойных проб, одна из которых бралась из поверхностного микрослоя, а другая с глубины 3—4 м под поверхностью океана (рис. 1). Содержание микроэлементов определялось в фильтрате.

Статистические параметры изученных компонентов приведены в табл. 1, коэффициенты корреляции между ними — в табл. 2. Для марганца, цинка, меди и кремнезема связь между содержаниями одного и того же компонента в поверхностном микрослое и подповерхностном слое отсутствует, для железа и метана она существует. Структуры корреляционных связей между компонентами поверхностного микрослоя и подповерхностного слоя различны (рис. 2). Отмеченные корреляционные особенности не позволяют считать причиной химических аномалий в поверхностном микрослое подповерхностный слой, компоненты которого выно-

сятся флотационно на поверхность пузырьками атмосферного воздуха, захваченными при волнении океана.

Содержание всех компонентов, за исключением метана, в поверхностном микрослое выше, чем в подповерхностном слое. В то же время, как показывает сравнение коэффициентов вариации, распределение компонентов в поверхностном микрослое более равномерное, чем в подповерхностном слое. Такое распределение косвенно свидетельствует в пользу пузырькового механизма. Известно, что «один и тот же» микрослой существует на поверхности океана в течение первых минут, после чего за счет утяжеления, обусловленного охлаждением в связи с испарением, он тонет — погружается в нижележащий слой, а на его месте образуется новый микрослой. Эта постоянная микроконвекция должна приводить к большей по сравнению с подповерхностным слоем вариальности содержаний различных компонентов в поверхностном микрослое. Этого, однако, не происходит! Сохранение концентраций компонентов на определенном уровне возможно лишь при их стационарном подтоке. Такой подток и обеспечивает пузырьковый механизм.

Пространственное распределение аномалий содержаний различных компонентов в поверхностном микрослое и подповерхностном слое (см. рис. 1) говорит о их приуроченности к проекции на поверхность океана площадей сосредоточения на дне древних и современных рудных построек, железомарганцевых низкотемпературных корковых образований, высокотемпературных «курильщиков» и более низкотемпературных мерцающих вод — «муаров».

Анализ картины распределений аномалий (см. рис. 1) показывает ее сложное строение. Это связано, с одной стороны, с наличием нескольких генераций пузырьков, а с другой — с дифференциацией внутри столба пузырь-

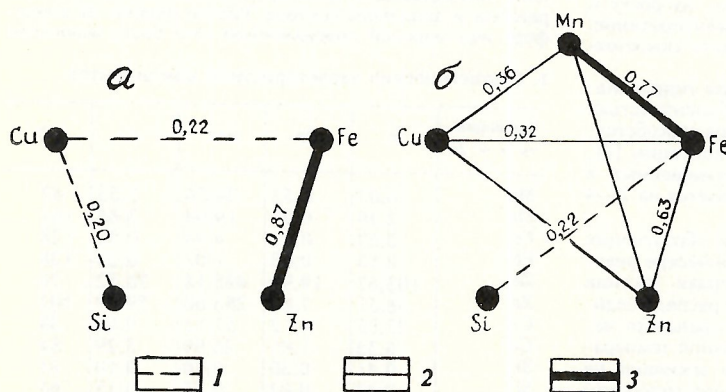


Рис. 2. Структура корреляционных связей между компонентами поверхностного микрослоя (а) и подповерхностного слоя (б):

г: 1 — 0,2—0,3; 2 — 0,3—0,7; 3 — 0,7—1

3. Факторные веса и нагрузки

Компоненты	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	Σ F ² · 100
Mn	0,21	-0,29	-0,50	0,62	-0,19	-0,26	0,15	0,89
Mn'	0,79	-0,01	-0,16	-0,24	0,20	-0,11	-0,37	0,89
Fe	0,45	0,74	0,08	0,44	-0,04	-0,03	0,02	0,95
Fe'	0,87	0,22	-0,01	-0,24	0,23	-0,09	0,00	0,92
Zn	0,47	0,73	0,14	0,30	-0,27	-0,08	0,01	0,94
Zn'	0,76	-0,24	-0,14	-0,31	0,01	0,22	0,13	0,82
Cu	0,16	-0,06	0,39	0,46	0,36	0,67	0,07	0,98
Cu'	0,52	-0,53	-0,39	0,17	0,17	-0,08	0,32	0,87
Si	-0,16	-0,17	0,45	0,37	0,59	-0,47	-0,09	0,97
Si'	0,13	0,12	0,70	-0,40	-0,03	-0,23	0,48	0,96
CH ₄	-0,34	0,50	-0,55	-0,07	0,32	0,06	0,29	0,86
CH ₄ '	-0,38	0,54	-0,47	-0,24	0,34	-0,03	0,01	0,83
Σ F ²	3,02	2,14	1,84	1,47	0,93	0,88	0,60	10,88
Σ F ² , %	25,2	17,8	15,3	12,3	7,8	7,3	5,0	90,7
Σ, %	25,2	43,0	58,3	70,6	78,4	85,7	90,7	90,7

ков по их размерам и составу адсорбируемых компонентов. Возникновение генераций обусловлено отделением от гидротерм пузырьков разного состава при разной температуре. Турбулентность дифференцирует пузырьки по радиусу. Поскольку внутри вихря давление меньше, наиболее мелкие пузырьки затягиваются внутрь вихря, где продолжают расти за счет слияния и диффузии внутрь пузырька газов из окружающих вод. Крупные пузырьки располагаются по периферии.

Всплывающий пузырек служит источником движущегося макроскопического объемного заряда и, следовательно, совокупность таких движущихся пузырьков обуславливает конвекционный электрический ток в жидкости [1]. Железо, марганец, медь, цинк и другие компоненты гидротерм присутствуют в разных ионных формах. И хотя конкретно эти формы не известны, главным является то, что мицеллы с одним и тем же элементом могут иметь разные комплексный состав, заряд и знак и в соответствии с этим либо двигаться к столбу пузырьков и адсорбироваться на них, либо «отталкиваться» от столба, либо быть индифферентными по отношению к нему. Пузырьковый механизм — своеобразная «призма», разлагающая химическую систему гидротерм на «спектр» — ансамбли пузырьков разного газового состава и состава транспортируемых элементов. В результате аномалии в поверхностном микрослое, а также разноименные аномалии на одном уровне оказываются частично перекрытыми и все вместе вытянутыми в направлении усредненного по всей толще воды вектора течения.

В проведенных исследованиях из возможных газоносителей, образующих пузырьки, определялся только метан. На основании факторного анализа (метод главных компонент) совокупность компонентов разделена на ассоциации, контролируемые разными факторами (табл. 3). Эти ассоциации можно интерпретировать как связанные с различными генерациями пузырьков. Различные нагрузки факторов на метан можно объяснить зависимостью их от соотношения в пузырьках содержаний метана и других газов: чем меньше нагрузка фактора на метан, тем меньше его доля в общем газовом составе пузырька.

Первый фактор F₁ можно идентифицировать как показатель интенсивности проявления пузырькового механизма. Различие знаков нагрузок этого фактора, с одной стороны, на систему, а с другой — на остальные компоненты свидетельствует о том, что метан, присутствующий в опробованном поверхностном микрослое и подповерхностном слое, в подавляющей своей массе связан не с пузырьками, а имеет «местное» происхождение.

Пузырьки с метаном транспортируют в поверхностный микрослой следующие ассоциации элементов: железо, цинк (F₂); марганец (F₃); кремнезем, медь (F₅). Элементы, имеющие факторные нагрузки противоположного с метаном знака, переносятся пузырьками, в которых он отсутствует.

Поскольку состав выносимых пузырьками на поверхность океана компонентов гидротерм крайне разнообразен, в контурах аномалий за счет бурного развития фитопланктона будут возникать своеобразные «оазисы

жизни», аналогичные «оазисам» на дне океана вблизи выходов гидротерм [5]. Можно предположить, что и на всем протяжении столба пузырьков от дна до поверхности он будет сопровождаться повышенной биологической активностью, причем не всегда типичной для соответствующих глубин. Возможно, этим объясняются поразившие специалистов факты находок живых фитопланктонных организмов в глубоких афотических слоях тропической части Мирового океана и Средиземного моря, о чем сообщалось на II Международном конгрессе океанологов, проходившем в 1966 г. в Москве [8].

Таким образом, поверхность Мирового океана представляет собой экран, на который при помощи пузырькового механизма проецируются компоненты мантийно-дегазационного, гидротермального и биологического происхождения. Очевидно, что в разных частях акватории абсолютные, относительные и суммарные концентрации компонентов могут в различной степени варьировать. С учетом априорной информации о климатических, гидродинамических, геодинамических, а также структурно-тектонических особенностях различных секторов океана можно установить относительные вероятности обнаружения пузырьковых аномалий интересующего нас генезиса. На базе этих априорных вероятностей открывается возможность выбора спектра характеристик объекта поисков, которые должны регистрироваться с ИСЗ. Снимаемые параметры характеристик являются фактологической базой для получения апостериорных вероятностей прогнозируемых пузырьковых аномалий и принятия решений по составу, структуре, времени и объемам следующего этапа исследований или поисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З. Электромагнитные явления в природных водах. — Л.: Гидрометеиздат, 1984.
2. Ганев А.А., Машьянов Н.Р., Свешников Г.Б., Шолупов С.Е. О возможном картировании активных тектонических структур по газовым ореолам ртути над морской поверхностью // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 5. С. 1162.
3. Геологическое строение и гидротермальные образования хребта Хуан-де-Фука. — М.: Наука, 1990.
4. Горяинов И.Н. Транспортные химические реакции в геологии // Советская геология. 1988. № 2. С. 102—110.
5. Горяинов И.Н., Грамберг И.С., Смекалов А.С. и др. К вопросу об «оазисах жизни» в абиссальных частях океана в связи с находками гигантских диатомей // Докл. АН СССР. 1990. Т. 315. № 4. С. 966—970.
6. Жуков Л.А. Общая океанология. — Л.: Гидрометеиздат, 1976.
7. Ковалев А.А. Мобилизм и поисковые геологические критерии. — М.: Недра, 1985.
8. Отчет о II Международном океаническом конгрессе. — М., 1966.

9. Розина Т. Океанические рифты и открытие «термического феномена» // Наука и жизнь. 1980. № 11. С. 37—43.
10. Условия образования и закономерности размещения железомарганцевых конкреций Мирового океана / Ред. О.Д. Корсаков. — Л.: Недра, 1987.
11. Юбко В.М., Стоянов В.В., Горелик И.М. Геологическое строение и рудоносность зоны Клариион-

- Клиппертон Тихого океана // Советская геология. № 12. 1990. С. 72—80.
12. Sharon L., Walker and Edward T. Baker. Particlesize Distributions within Hydrothermal Plumes over the Juan de Fuca Ridge // Marine Geology. 78 (1988). № 3/4. P. 217—226.

Принята редколлегией 25 марта 1996 г.

Рецензии

УДК (049.3)

© В.Н.Островский, 1996

Экология — теория, законы, правила, принципы и гипотезы*

В.Н.ОСТРОВСКИЙ (ВСЕГИНГЕО)

Книга Н.Ф.Реймерса — первая фундаментальная попытка в отечественной, а возможно, и в зарубежной литературе дать обобщающее изложение научных принципов и подходов, лежащих в основе конгломерата наук, объединенных общим названием «экология». Классические монографии по экологии (Ю.Одум, Р.Уиттекер, Р.Дажо и др.) касаются почти исключительно биоэкологических проблем.

Н.Ф.Реймерс предлагает выйти за рамки традиционной биоэкологии. Он рассматривает в своей книге Большую экологию (мегаэкологию), включающую не только биоэкологию, но и науки об абиотической составляющей экосистем, а также ряд социальных наук. Теоретические основы мегаэкологии пока отсутствуют, что, как справедливо отмечает Н.Ф.Реймерс, дает возможность легко примкнуть к экологии людям, ничего в ней не понимающим: «все стали экологами. Такого взрыва профанации знания не было в истории человечества» (с. 13). В такой ситуации разработка концептуальной базы экологии является проблемой первостепенной важности и определенные контуры ее решения содержатся в книге Н.Ф.Реймерса, хотя в этом направлении еще предстоит трудная и длительная работа. В целом высоко оценивая монографию и понимая всю сложность экологических проблем и во многих случаях неоднозначность их решения, остановимся на некоторых недоработках и дискуссионных положениях книги.

Из поля зрения автора в значительной степени выпали проблемы экологической геологии — нового интенсивно развивающегося в последние годы направления геологической науки. Мегаэкологию нельзя создать, игнорируя влияние на формирование, функционирование и трансформацию экосистем тектоники, геологического субстрата, геохимических и других геологических факторов. Попытаемся кратко обосновать это положение.

Две географические мегагруппы экосистем — континентальные и океанические — обязаны своим существованием тектоническим процессам. На суше происхождение и распространение экосистем различных иерархических уровней в значительной степени определяется геологическими условиями. Так, своеобразное Средиземноморское флористическое царство обязано своим существованием альпийскому тектогенезу региона моря Тэтис.

Массоэнергобмен между экосистемами регионального уровня в большой степени определяется процессами массоэнергобмена на поверхности Земли и в литосфере, осуществляемыми в виде поверхностного и подземного стоков. Именно этот процесс в значительной степени объединяет экосферу в единое целое.

Общепризнана роль геологического субстрата в фор-

мировании основных компонентов экосистем — почв и растительности. Известен ряд экологических групп растений, связанных с определенным типом горных пород (кальцефиты, произрастающие на известняках; сидерофиты, тяготеющие к ожелезненным породам и т.д.). Существование ряда реликтовых экосистем нередко обусловлено геолого-петрографическими особенностями территорий. В качестве примера можно привести приуроченность сосновых боров Центрального Казахстана, экосистем совершенно не свойственных аридной зоне, только к гранитам позднепермского возраста, что еще в 30-е годы было замечено геологом Н.С.Яговкиным.

Петрографические факторы влияют не только на формирование фитоценозов, но в ряде случаев и зооценозов (обитание бабочки *Euphedrias edita* в Северной Калифорнии только на участках выхода на поверхность серпентинитов — Р.Уиттекер, 1980).

Катастрофические геологические процессы (землетрясения, вулканические извержения и т.д.) непосредственно воздействуют на экосистемы как в деструктивном, так и в созидательном плане.

Скромная роль, отводимая автором в мегаэкологии геологическим факторам, не отражает их реальной значимости в решении экологических проблем. Именно история геологического развития нашей планеты наряду с влиянием космоса предопределила направленность эволюции среды обитания организмов. Сейчас, к сожалению, в эти процессы негативно вмешался человек.

Теоретическим центром монографии является третья глава. Представление об иерархии экосистем, их функционировании, закономерностях распространения, эволюции сгруппированы автором в ряд теорем. Термин «теорема», заимствованный из математики, неудачен, т.к. речь идет в большинстве случаев об эмпирических обобщениях, но, отнюдь, не о строго детерминированных законах (об этом пишет и сам автор — с. 43).

Включение в теоремы экологии основных физических законов и положений теории систем нельзя признать целесообразным. Это фундамент всей системы естественных наук, и задача автора, по нашему мнению, состояла в том, чтобы показать специфичность проявлений общих физических и системных законов в мегаэкологии, что ему не в полной мере удалось.

Что касается биоэкологии, то в книге дается наиболее полная (в отечественной литературе) сводка многочисленных преимущественно эмпирических законов, правил, обобщений. Такая сводка, безусловно, необходима, но страдает неизбежной фрагментарностью, что является следствием пока еще недостаточной разработки теоретических основ экологии. Обобщение автора — необходимый шаг в области создания мегаэкологии.

Блок-схема структуры современной экологии (рис. 1.1) нуждается, на наш взгляд, в совершенствовании. Если исходить из известного определения экологии как науки о взаимодействии организмов со средой их оби-

* Н.Ф.Реймерс. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. — М.: Россия Молодая, 1994.

тания, то в мегаэкологии целесообразно выделить два макроблока: науки о живых организмах и науки о среде их обитания. Возможно, в самостоятельный макроблок системы «мегаэкология» следовало объединить касающуюся экологии часть социальных наук. Дальнейшую систематизацию направлений мегаэкологии следовало бы производить на предлагаемой основе.

Безусловно, очень важно включение в мегаэкологию наук о человеке и социальных наук. Автор четко подразделяет эти два научных направления, относя к первому изучение взаимодействия с окружающей средой человека как индивида, а ко второму исследования взаимодействия со средой социальных структур. Именно эти факторы являются главными в ликвидации глобального экологического кризиса. В конце концов будущее зависит от того, насколько может перестроиться человечество в ограничении своих потребностей и инстинктов: управлять люди должны не природой, а сами собой (с. 151).

Хотя экологии человека в монографии уделяется значительное внимание, тем не менее некоторые проблемы рассмотрены недостаточно. Первая из них — это присущая человеку как биологическому виду агрессивность, которая во многом определяет ущерб, наносимый природе его хозяйственной деятельностью. Как показал К.Лоренц в своей философски глубокой монографии «Агрессия (так называемое зло)», агрессивность изначально свойственна человеку, и абстрактное мышление пока лишь усилило его опасность для природы.

Познание механизмов агрессивности, психологический анализ мотивов деятельности человека должны быть основой экологического воспитания людей всех поколений и войти в качестве одной из важнейших составных частей в мегаэкологию. Нельзя представить себе мегаэкологию и без психоанализа З.Фрейда, о котором в книге практически не говорится.

Что касается социальной экологии, то она еще только зарождается и это нашло отражение в ряде спорных положений, содержащихся в монографии.

Исторический материализм, сводящий всю историю человечества к борьбе классов, уже не может являться универсальной базой для концептуальных экологических построений, хотя некоторые его положения, безусловно, справедливы. В книге не уделяется должного внимания анализу типов человеческой цивилизации с экологических позиций. Ведь традиционный образ жизни народов в той или иной форме включал экологические ограничения. Их нарушению способствовал мощный технический процесс. Не все нации успешно адаптировались к этому прогрессу, и многие экологические проблемы возникли из-за неадекватной реакции ряда народов на машинную цивилизацию.

Экологическое сознание народов во многом определяется нормами поведения, предписываемыми религией. Эта проблема затронута в монографии, но с некоторыми выводами автора нельзя согласиться. Выделение христианства как религии, наиболее полно учитывающей экологический императив (по Н.Н.Моисееву), спорно. Из трех великих религий (христианство, буддизм, ислам), пожалуй, наиболее экологичен буддизм с его культом бережного отношения ко всему живому. Ряд экологических табу содержит и ислам, к которому у Н.Ф.Реймера самое негативное отношение. Но дело здесь не в экологических недостатках догм ислама, а в том, что ислам не только религия, но и образ жизни, который, к сожалению, трудно вписывается в современную техническую цивилизацию. Не

следует забывать, что в развитых странах гипертрофированное возрастание потребностей в значительной степени определено психологией протестанства — приоритетом личной инициативы и вытекающим из него культом накопления материальных богатств (см. М.Вебер «Этика протестанства»). Это, по существу, является основной причиной глобального экологического кризиса.

Трудно принять мысль автора о необходимости создания новой более экологической религии (с. 342). Подобные попытки уже были: вспомним культ Верховного существа М.Робеспьера. Чем это закончилось хорошо известно.

В книге содержится ряд дискуссионных положений частного характера. В качестве примера остановимся на двух из них. Автор (с. 177) выделяет третью «промежуточную» экологическую революцию, заключающуюся в переходе от орошаемого к богарному земледелию. Нам представляется, что это неверно, т.к. эти ветви земледелия развивались параллельно и неизвестно, какая из них древнее. Орошаемое земледелие свойственно аридной зоне, где богарное просто невозможно. В странах с достаточным и избыточным увлажнением господствует богарное земледелие, и орошение применяется лишь при выращивании наиболее ценных культур.

Дискуссионна предлагаемая классификация природных ресурсов (природных благ). Принцип классификации не выдержан. Так, выделяются энергетические, газово-атмосферные, водные, почвенно-геологические, а также биологические ресурсы. При таком подходе ресурсы горючих полезных ископаемых, геотермальные ресурсы, являющиеся типично геологическими ресурсами, отрываются от источника их формирования (земных недр). Нам представляется, что более логичным было бы традиционное деление ресурсов на минеральные, биологические и промежуточные между ними (почвенные) с дальнейшей их дифференциацией.

В классификации природных ресурсов иногда не выдерживается принцип их выделения. Как известно (БСЭ, т. 20), к природным ресурсам относится часть всей совокупности природных условий существования человека и важнейшие компоненты окружающей его естественной среды, используемые в процессе общественного производства для целей удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. Если исходить из этого определения, то нельзя относить (как это делает автор) к природным ресурсам загрязнение почв, их эрозию, тем более, что естественные ресурсы имеют в книге синоним «природные блага». Неясна необходимость выделения в качестве ресурсов геоморфологических структур и некоторых других объектов.

Отмеченные дискуссионные положения и недоработки практически неизбежны в работе, охватывающей огромный круг проблем, что сознает и сам автор. Основная суть книги состоит в попытке создания основных начал мегаэкологии, что, несомненно, облегчит дальнейшее движение вперед в области решения экологических проблем. Работа написана хорошим литературным языком в традициях классической русской науки и читается с большим интересом.

Статья написана при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, код проекта 95-05-14634.

Принята редколлегией 29 января 1996 г.

Самородное золото как живой организм*

А.Г.ЖАБИН (ИМГРЭ)

Генетико-информационный подход к кристаллам минералов как к организм оказался продуктивным, эффективным направлением, за которым с легкой руки профессора Дмитрия Павловича Григорьева закрепилось название *онтогенеза минералов*.

Что есть онтогенез минерала — кристалла, зерна, т.е. минерального индивида? Это сумма его свойств, качеств, на основе которых мы расшифровываем единичный цикл его жизни — зарождения, роста, автоизменения, метаморфизма, разрушения.

Естественно, такой методологический подход лишь моделирует настоящую органическую (на основе ДНК) жизнь, однако он, повторяем, оказался весьма продуктивным по объему получаемой полезной общенаучной и прикладной информации.

Хорошим примером эффективности такого подхода является монография сотрудника ЦНИГРИ Р.А.Амосова и сотрудника Института трансплантологии и искусственных органов С.Л.Васина «Онтогенезис самородного золота России». Ее ценность заключается прежде всего в том, что она отражает и суммирует информационные возможности самородного золота в нескольких направлениях:

генетические, типоморфные и формационные признаки месторождений, в которых оно находится;

возникновение формы его индивидов и структуры агрегатов как важнейшего технологического критерия при оценке извлекаемости;

необыкновенная динамичность преобразований в эндогенных и гипергенных (холодноводных) условиях;

огромная роль биокаталитических факторов и иных форм взаимодействия золота как минерала и химического элемента с простейшими организмами и т.п.

Таким образом, данная монография не есть еще одна из тех, которые только описывают «морфологию» золота. Помимо морфологии, она вскрывает физические *механизмы возникновения* этих форм и дает такие описания в контексте онтогенеза, т.е. в эволюционном виде.

Естественно, обозначить и назвать такие механизмы формо- и размерообразования было бы невозможно без коллекции прекрасных фотографий, отличающихся лаконизмом и редкой бесспорностью.

В монографии рассмотрены вопросы:

извлечение самородного золота из материала проб; растровая электронная микроскопия;

«Природа не подозревает о нашем супер-особом отношении к золоту. Можно утверждать, что почти все, что мы знаем о нем или ценим в нем, имеет антропоморфный оттенок... И тем не менее оно — минерал...»

В.Кантаржи

энергодисперсионный анализ;
электронная оже-спектроскопия.

Приведены:

автоэпитаксическое зарождение самородного золота;

эпитаксическое зарождение;
процессы, стимулирующие отложение золота на минералах;

твердофазное зарождение;

биокаталитическое зарождение.

Проанализированы:

взаимодействие кристаллов самородного золота с раствором;

скелетный рост;

взаимодействие с другими минералами, эволюция формы в процессе роста.

В книге обращено внимание на диффузионное перераспределение элементов-примесей, упорядочение и распад твердых растворов и др.

Особый интерес представляет глава 1, где суммированы методы препарирования (что чрезвычайно важно для сохранения первичных форм и свойств золота!) и исследования. Здесь обобщен опыт авторов, который трудно переоценить. Эта методическая глава будет полезна исследователям, работающим в разных направлениях; по типоморфизму золота из потоков рассеяния и россыпей, позволяющему сделать заключение о формационном типе первичного источника и об изменениях в период нахождения золотины в гипергенном окружении; по технологическим обогащительным посылкам на стадии ранней оценки; размерность, плотностные характеристики, форма, делимость на субиндивиды, относительная прочность границ с ассоциирующими минералами и т.п.

Отметим один из рассмотренных авторами факторов зарождения и концентрирования золота как химического элемента. Уже многими исследователями отмечено, что некоторые широко распространенные самостоятельно или в составе рудных месторождений минералы, среди которых особую роль играют пирит и арсенопирит, являются полифункциональными кристалло-физическими осадителями, накопителями золота как бы вне привычных нам рудно-формационных рамок: пиритовые агрегаты любого первичного генезиса (например, эвксинская фация черных сланцев) являются универсальным геохимическим барьером для золота, платиноидов, мышьяка, сурьмы, вольфрама и ртути.

Всем исследователям, прямо или косвенно связанным с изучением золота в самых разных аспектах, рекомендуем приобрести рецензируемую книгу.

* Амосов Р.А., Васин С.Л. Онтогенезис самородного золота России. — М.: ЦНИГРИ, 1995.

Contents

METALLIC AND NONMETALLIC MINERAL DEPOSITS

- Tarkhanov A.V., Vetrov V.I., Abrosimov A.A., Mel'nik N.G.*
Distribution of world uranium reserves 3

- Serokurov Yu. N., Kalmykov V.D.*
Annular structures of the Earth and diamond-bearing zones 10

- Putintseva Ye.V., Ivanikov V.V., Filippov N.B., Bogachev V.A.*
Precious metal ore mineralization and presence of diamonds in alkaline complexes of the Karelia-Kola region 18

- Gemp S.D.*
Effect of the structure of the Verkhnekamskoye potassic salt deposit on its exploitation 26

LITHOLOGY, PETROLOGY, MINERALOGY, GEOCHEMISTRY

- Strakhov P.N., Lysak N.V.*
On the interconnectability between different-origin voids in carbonate deposits 32

GEOPHYSICS AND DEEP-SEATED STRUCTURE

- Bondarenko A.T., Abramov V.Yu., Zinchuk N.N., Pystin A.B.*
Distribution of electric and radio wave parameters in the interfault space 37

Petrov G.V.

- Magnetic aureole of a hydrothermal massive sulfide system 44

GEOECOLOGY

- Cheremisina Ye.N., Kochetkov M.V., Larikova O.I.*
GIS technologies in the compilation of electronic geoecological maps 47

GEOLOGY AND GEOPHYSICS OF THE WORLD OCEAN

- Goryainov I.N., Kazakova V.Ye., Smekalov A.S.*
Projection of underwater hydrothermal outflows onto the ocean surface 50

BOOK REVIEWS

Ostrovsky V.N.

- Ecology — theory, laws, rules, principles and hypotheses 54

Zhabin A.G.

- Native gold as a living organism 56