

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,  
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 553.2(26)

В.В. АВДОНИН, Н.Е. СЕРГЕЕВА

ПРОЦЕССЫ ФОСФАТИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОРОК  
ГАЙОТОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР

Взаимоотношения процессов фосфатизации и железомарганцевого оруденения изучены на основе систематических микронодовых анализов субмикроскопических слоев корок. Установлены факты последовательного нарастания фосфатных и марганцовистых слоев, что исключает возможность метасоматических процессов. Показано, что характерное для таких участков ритмичное чередование марганцовистых и фосфатных слоев может являться следствием автоколебательного механизма осаждения вещества.

Кобальтоносные железомарганцевые корки широко развиты на склонах многочисленных гайотов. Мощность подобных образований колеблется от нескольких миллиметров до 20 см и более [1, 3]. По данным Ю.А. Богданова [2], В.В. Круглякова, М.Е. Мельникова, И.А. Пуляевой [4, 6] и других исследователей, в корках Магеллановых гор выделяют четыре слоя: I—1, I—2, II, III, характеризующихся устойчивостью состава и строения на больших территориях. В некоторых образцах установлены фрагменты более раннего реликтового слоя (R), подстилающего нижний слой I—1.

Контакты слоев часто резкие, несогласные, фиксируются следы разрушения нижележащего слоя. Иногда в разрезе корок наблюдаются песчано-гравийные прослои; в них обломки обычно сцементированы железомарганцевым тонкослоистым материалом, который слагает рудные слои, или карбонатно-фосфатным илом. В отдельных случаях некоторые слои или группы слоев могут выпадать из разреза корок.

Детальные биостратиграфические исследования, выполненные М.Е. Мельниковым и И.А. Пуляевой, позволили датировать выделенные слои [4]: реликтовый — поздний мел—поздний палеоцен; I—1 — поздний палеоцен—ранний эоцен; I—2 — средний—поздний эоцен; II — миоцен, III — плиоцен-четвертичный.

В слоистом разрезе корок выделяют образования различных уровней. Первый (макроскопический) представлен охарактеризованными выше слоями различных возрастов. Ко второму (условно микроскопическому) уровню отнесены хорошо обособленные слои толщиной в несколько

миллиметров, отличающиеся одни от других текстурно-структурными особенностями. Строение каждого из таких слоев в свою очередь обусловлено ритмичным чередованием субмикроскопических слоев (третий уровень), толщина которых колеблется в пределах 1—3 мкм, иногда достигает 20 мкм.

Слои от I—1 до III включительно характеризуются близостью минерального и химического состава. Слагающие слои субмикроскопические слои, несколько различающиеся под микроскопом по отражательной способности, существенно не отличаются по составу (табл. 1). Этим они отличаются от железомарганцевых конкреций, которые сложены обычно субмикроскопическими слоями контрастного состава. Подобные особенности строения конкреций позволили считать их продуктами автоколебательных процессов осаждения вещества, происходящих в условиях, близких диагенезу [5]. В отличие от конкреций корки, вероятно, имеют в основном гидрогенную природу.

При гидрогенном механизме, действующем в условиях активного гидродинамического режима, смена состава осаждающихся слоев обусловлена вариациями концентраций в подаваемых к контакту порциях придонной морской воды, и этим вызваны более однородный состав и постепенные изменения концентраций рудных компонентов.

Особенности состава субмикроскопических слоев и закономерности чередования их в различных слоях корок — основные объекты исследования авторов. Аналитический материал получен при изучении наиболее представительных образцов корок из коллекций сотрудников НПО

Средний состав субмикроскопических слоев (обр. 35 Д 228-1р)  
по результатам микрорентгеноспектрального анализа на JXA-5

Компонент	Субстрат		Слой I-1	Слой I-2а	Слой I-2б	Слой II	Слой III	Слой IIIр
	(4) <sup>1</sup>	(8)	(10)	(11)	(13)	(14)	(13)	(10)
SiO <sub>2</sub>	0,23	0,24	4,97	2,62	1,90	3,03	7,54	3,82
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,13	1,62	1,08	0,99	1,87	1,53	2,94
FeO	0,94	1,55	18,20	12,42	13,39	15,67	23,80	20,78
MnO	57,91	22,65	32,94	32,63	34,54	38,06	27,95	34,06
CaO	4,99	37,04	10,79	10,13	11,65	4,79	2,83	4,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45	9,84	2,92	2,12	2,31	0,74	0,33	0,27
CoO	0,37	0,31	0,75	0,64	0,68	1,10	0,92	1,42
NiO	1,19	1,56	0,44	0,85	0,93	1,04	0,51	0,76
CuO	0,35	0,13	0,23	0,30	0,19	0,24	0,07	0,09
BaO	10,18	3,08	0,44	0,17	0,23	0,48	0,21	0,26
Сумма	76,73	76,53	73,30	62,96	66,81	67,02	65,69	68,74
Тип слоев	Mn	P	Fe-Mn	Fe-Mn	Fe-Mn	Fe-Mn	Fe-Mn	Fe-Mn

<sup>1</sup> В скобках — количество анализов (точек).

«Южморгеология». Авторы принимали участие в обработке материалов по коркам Магеллановых гор. Исследования состава и строения субмикроскопических слоев проводились на микроанализаторах JXA-5 (GEOL) и SamScan. Основное внимание уделено анализу взаимоотношений процессов фосфатизации и оксидного железомарганцевого оруденения, которые до сих пор окончательно не выяснены.

Корки подводных гор северо-западной части Тихого океана ассоциируют с фосфоритами. Фосфатизация широко распространена на гайотах, где развиты пласты фосфоритов и фосфатизированных пород — известняков, базальтов и других — мощностью до нескольких десятков метров. Фосфатизацией охвачены преимущественно карбонатные породы (нижний мел—плейстоцен) [3]. Она проявилась в различных формах: фосфатизированные глобигериновые известняки; базальты, поры в которых заполнены фосфатом; прожилки апатита в базальтах; пятнистые ступки фосфатного материала в цементе вулканогенных брекчий и т. д.

Фосфориты гайотов рассматриваются как раннедиагенетические образования, формирующиеся за счет фосфора поровых, отчасти наддонных вод, который образовался при деструкции мягких тканей организмов [3]. Некоторые исследователи пришли к выводу, что «фосфориты гайотов западной части Тихого океана — это главным образом в разной форме седиментационно отложенная и фосфатизированная часть преимущественно планктонных нанофораминиферовых осадков пелагических областей низких широт океана» [7, с. 66]. Авторы [7] настаивают на том, что фосфатизация имеет характер замещения, сопряженного с процессами седиментации; диагенетические процессы рассматриваются как более позднее преобразование уже фосфатизированных участков.

Детальное (на субмикроскопическом уровне) изучение взаимоотношений процессов фосфатизации и коркообразования позволило установить следующее. Фосфатизация проявилась в слоях корок по-разному и отличалась интенсивностью. Наиболее обильные выделения фосфатных масс и

другие формы фосфатизации наблюдаются в субстрате корок и в реликтовом слое. В некоторых изученных образцах слои, перекрывающие реликтовый слой, почти не обнаруживают заметных признаков фосфатизации (35 Д 131, 35 Д 193). В других случаях интенсивные процессы фосфатизации охватывают слои I-1 и I-2, слои II и III лишены признаков заметной фосфатизации. В субстрате наблюдаются крупные скопления фосфатного материала, иногда наряду с цементом облекающие обломки брекчий. Здесь развиты трещины, выполненные фосфатизированным илистым материалом.

Реликтовый слой характеризуется наиболее пестрым составом слагающих его фаз рудного и нерудного вещества, высокими концентрациями фосфора и разнообразными формами проявления фосфатизации. В этом слое отмечаются прослои фосфатного материала мощностью до 5 мм, секущие прожилки, включения изометричной формы с размером в поперечнике до 1,5 см, рассеянное фосфатное вещество.

Межслоевые и секущие фосфатные прожилки мощностью до 2 мм, не редки и в слое I-1, где они, как и в других слоях, сложены фораминиферо-нанофоссилиевой фосфатизированной массой. В слое I-2 фосфатный материал обычно равномерно рассеян по разрезу слоя, заполняя интерстиции в текстурном рисунке дендритовых слоев, а также образует макровключения размером в несколько миллиметров. В слое II макровключения карбонатно-фосфатного материала наблюдаются чаще вблизи нижнего контакта; в основной массе преобладают включения силикатного материала. Для III слоя фосфатизация не характерна.

Некоторые существенные особенности процесса фосфатизации, позволяющие приблизиться к пониманию взаимоотношений его с процессами формирования корок, удалось изучить на субмикроскопическом уровне. Наиболее детальные наблюдения проведены в слоях, обогащенных фосфатным материалом: в реликтовом слое (образцы 35 Д 131 и 35 Д 193), а также в слоях I-1, I-2 и нерудном прослое образца 35 Д 258-5.

Состав субмикроскопических слоев  
в дендритах реликтового слоя (35 Д 131) по данным  
микрорентгеноспектрального анализа CamScan (в мас.%)

Номер анализа	11	12	13	14	15	16	17
SiO <sub>2</sub>	10,98	0,54	0,35	1,16	1,69	0,45	1,20
TiO	1,0	0,00	0,14	0,29	0,48	0,15	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,44	0,38	7,59	0,66	0,62	0,50	0,42
FeO	10,96	1,55	1,41	2,90	7,73	1,91	4,62
MnO	35,56	6,89	59,79	9,75	20,67	7,99	4,59
MgO	3,58	0,78	11,69	0,97	1,33	1,16	0,64
CaO	15,93	53,36	3,97	49,14	37,01	51,36	52,38
Na <sub>2</sub> O			3,64	1,58	1,39	1,59	1,09
K <sub>2</sub> O	1,25	0,27	1,19	0,40	0,44	0,34	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	9,41	33,05	1,61	30,12	22,18	31,55	32,45
CoO	0,41	0,02	0,31	0,25	0,36	0,07	0,01
NiO	1,44	0,43	6,59	0,33	1,06	0,79	0,40
CuO	0,46	0,21	1,13	0,39	0,00	0,26	0,14
Cl	0,24	0,13	0,14	0,15	0,34	0,16	0,14
S	1,29	1,74	0,31	1,80	1,58	1,64	1,51
Тип слоев	Mn	P	Mn	P	P	P	P

В реликтовом слое отмечено несколько генераций рудного вещества, которые обычно разделяются границами несогласий. В образце 35 Д 193 на границах различных генераций фиксируются признаки деструкции нижележащих слоев и заполнение трещин и «промоин» последующей генерацией рудного вещества. Деструкция выражена в развитии линзовидных прожилков, имеющих иногда сложную ветвящуюся форму, ориентированных вкрест слоистости.

Как показали результаты микронзондового анализа, среди субмикроскопических слоев, сложенных оксидами марганца и железа, очень часто присутствуют слои фосфатного состава; они подвергаются деструкции вместе с заключающими их оксидными слоями. Это однозначно свидетельствует о формировании фосфатных слоев одновременно с железомарганцевыми. Возраст фосфатных слоев, как и любого члена слоистого разреза, определяется позицией: они образовались позже подстилающих и раньше перекрывающих слоев.

Интересные взаимоотношения последовательных фосфатных и марганцовистых фаз наблюдались в нижней части реликтового слоя (35 Д 131). На рис. 1 виден контакт столбчато-дендритовых образований с перекрывающей однородной массой. Последняя представляет собой не что иное, как фосфатизированный нанофораминиферовый ил с многочисленными остатками микрофауны, который проникает по трещинам вглубь дендритового слоя. В массе ила находятся фрагменты многочисленных дендритов.

По результатам микроанализа установлено, что внешний субмикроскопический слой наиболее крупного дендрита имеет марганцовистый состав с несколько повышенным содержанием кремнезема (табл. 2). Под этим слоем расположен фосфатный прослой, затем марганцовистый. Далее следует чередование подобных слоев с преобладанием фосфатных. Здесь отчетливо видно, что рост дендритов происходил путем последовательного «напластования» марганцовистых и фосфатных слоев. В образце 35 Д 258-5 подобные описанным согласные взаимоотношения фосфатных и марганцовистых фаз обнаружены в слоях I-1, I-2. Здесь также наблюдались дендритоподобные образования, состоящие из чередующихся темных и светлых слоев, окруженные фосфатизированным илом (рис. 2).



Рис. 2. Глобулярно-дендритовые образования, погруженные в нанофораминиферовый ил. Слой I-2а, обр. 35 Д-258-5. (CamScan): I-15 — точки локального микроанализа (табл. 3)

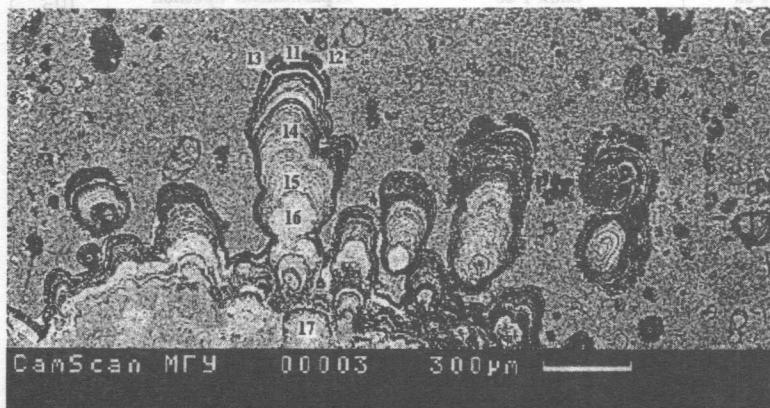


Рис. 1. Дендриты реликтового слоя в массе карбонатно-фосфатного ила (35 Д 131, CamScan): 11-17 — точки локального микроанализа (табл. 2)

Микроанализы чередующихся слоев показали, что они отчетливо разделяются на две группы: светлые обогащены марганцем, темные — кальцием и фосфором. Причем и марганцовистые, и фосфатные слои образуют достаточно однородные группы. Заметим, что в данном образце, как и в других, состав фосфатных слоев существенно отличается от состава фосфатизированного ила (табл. 3). По соотношению кальция и фосфора их состав соответствует апатиту.

Можно считать, что чередование таких контрастных по составу микрослоев — специфическая особенность строения определенных частей разреза ко-

Состав (в мас.%) субмикроскопических слоев (35Д 258-5, слой I-2а) по данным микрорентгеноспектрального анализа (CamScan)

Точка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO <sub>2</sub>	0,16	0,08	0,41	0,11	0,25	0,04	0,28	0,23	1,37	0,12	0,27	0,35	0,34	0,32	0,05
TiO <sub>2</sub>	0,33	0,46	0,00	0,37	0,34	0,86	0,52	0,29	0,02	1,13	0,31	0,21	0,45	0,42	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,71	2,73	0,32	1,87	0,21	0,15	0,27	2,13	0,49	0,34	0,29	2,20	0,39	0,35	0,41
FeO	0,52	0,00	0,73	0,59	1,05	0,48	1,45	0,35	0,33	0,60	1,43	0,46	1,42	3,46	0,40
MnO	75,23	71,82	8,37	74,42	25,61	69,97	36,03	75,91	0,26	74,29	22,15	74,64	21,30	19,47	80,13
MgO	7,70	8,68	0,86	7,44	2,36	5,97	3,17	8,60	0,44	6,89	1,91	6,68	1,67	1,56	4,45
CaO	4,09	4,79	53,87	3,03	41,05	9,13	33,40	2,54	61,42	5,85	43,01	3,15	43,86	44,14	3,27
Na <sub>2</sub> O	1,22	1,74	1,41	3,11	1,11	1,97	1,22	1,34	1,07	1,82	1,69	1,88	1,17	1,36	2,24
K <sub>2</sub> O	2,34	1,80	0,27	2,30	1,10	2,85	1,54	2,49	0,21	2,84	0,93	2,46	0,65	0,45	2,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,72	2,14	32,62	0,86	25,25	5,45	20,24	0,67	33,87	3,18	26,44	0,59	27,36	27,08	0,25
CoO	0,23	0,43	0,25	0,28	0,47	0,02	0,17	0,46	0,16	0,31	0,16	0,23	0,12	0,34	0,00
NiO	4,42	5,31	0,71	5,07	0,97	3,13	1,72	4,67	0,24	2,58	0,98	6,74	0,65	1,06	5,37
CuO	0,35	0,03	0,18	0,55	0,24	0,00	0,00	0,34	0,13	0,06	0,44	0,43	0,62	0,00	0,69
Сумма	100,01	100,01	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	100,01
Тип слой-ков	Mn	Mn	P	Mn	P	Mn	P	Mn	ил	Mn	P	Mn	P	P	Mn

рок. Такие участки разреза, наблюдаемые в реликтовом слое и спорадически в более молодых слоях, можно сопоставить с железомарганцевыми конкрециями, которым также свойственно ритмичное чередование контрастных (оксидных) слоев. На этом основании, как отмечено выше, для объяснения механизма формирования конкреций была привлечена гипотеза автоколебательного осаждения рудного вещества [5]. Можно предположить, что ритмичное чередование марганцевистых и фосфатных микрослоев, обнаруженное нами в корках, также следствие действия автоколебательного механизма осаждения материала.

Косвенно это подтверждают составы марганцевистых и фосфатных слоев, которые по всему разрезу корок близки между собой (рис. 3, табл. 4).

Интересно отметить, что помимо приведенных примеров, локальные участки чередования контрастных по составу слоев обнаружены в обломочных породах субстрата (35 Д 228-1) и в «гравий-

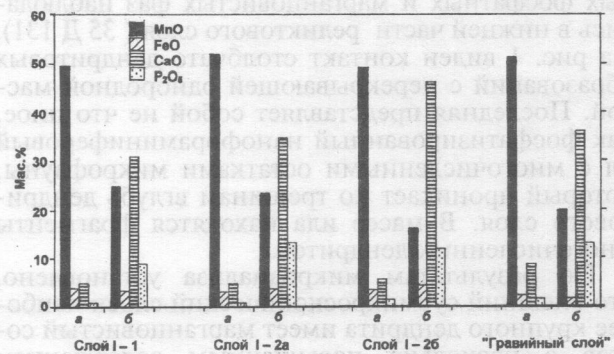


Рис. 3. Средний состав контрастных фаз: марганцевистых (а) и фосфатных (б) в разновозрастных слоях образца 35 Д-258-5. (табл. 4)

ном» прослой, разделяющем слой I-2 и III (35 Д 258-5) (табл. 4).

Почти во всех случаях, где среди оксидных слоев зафиксированы фосфатные, помимо контрастирующих с ними марганцевистых слоев

Т а б л и ц а 4

Средние составы контрастных фаз в разновозрастных слоях (35 Д-258-5) по результатам микрорентгеноспектрального анализа JXA-5 (в мас.%)

Компонент	Слой I-1			Слой I-2а		Слой I-2б			«Гравийный» прослой			Слой IIIр
	6 <sup>1</sup>	4	2	6	12	4	12	2	4	9	2	12
SiO <sub>2</sub>	0,41	0,87	3,69	0,76	1,28	0,16	0,46	0,78	0,41	0,75	0,80	3,44
TiO <sub>2</sub>	0,30	0,22	0,87	0,12	0,15	0,21	0,26	0,59	0,48	0,33	0,51	2,60
FeO	3,70	3,28	30,23	2,75	3,53	3,27	4,14	5,92	2,07	1,57	4,84	16,49
MnO	49,49	24,58	17,82	51,81	23,11	49,06	16,11	34,51	51,10	19,67	39,42	35,91
CaO	4,74	30,66	23,02	4,51	34,57	5,34	46,11	28,96	8,59	35,87	16,40	5,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,98	8,85	1,97	0,88	13,36	1,34	11,78	2,86	1,38	12,97	6,48	0,54
CoO	0,20	0,15	0,51	0,32	0,28	0,30	0,20	0,16	0,20	0,07	0,20	1,88
NiO	2,72	0,87	0,42	3,89	0,84	4,42	1,18	2,21	1,86	0,68	1,94	0,77
CuO	0,24	0,04	0,16	0,28	0,06	0,29	0,11	0,18	0,29	—	0,16	0,03
BaO	0,67	0,37	0,49	0,65	0,46	0,43	0,46	0,43	3,27	0,29	0,73	0,15
Сумма	63,45	69,89	79,18	65,97	77,64	64,82	80,81	76,50	69,65	72,20	71,48	67,19
Тип слоев	Mn	P	Fe-Mn	Mn	P	Mn	P	Fe-Mn	Mn	P	Fe-Mn	Fe-Mn

<sup>1</sup> Количество анализов.

обнаруживаются и слои железомарганцевого типа. По химическому составу они близки микрослоям, слагающим основную массу корок (табл. 1, 4). Возможно, что эпизодически проявившийся механизм автоколебательного накопления марганцовистых и фосфатных слоев действовал на фоне постоянно возобновлявшегося гидрогенного накопления железомарганцевого материала.

### Выводы

Проведенные исследования позволили выявить следующие особенности в строении железомарганцевых корок.

1. В основании корок слоев, преимущественно в реликтовом слое, нередко наблюдаются участки, строение которых обусловлено ритмичным чередованием контрастных по составу слоев марганцовистых и фосфатных. Аналогичные по составу фазы обнаружены в верхних частях субстрата, в «гравийных» прослоях, реже в слоях I-1, I-2.

2. Фосфатные слои, чередующиеся с оксидными, не обладают никакими признаками метасоматического замещения. Такие слои ничего общего не имеют с нередко наблюдаемыми секущими прожилками фосфатного материала, которые представляют собой трещины, заполненные илом [4, 6].

3. Отмеченные неоднократно явления деструкции слоистых и дендритовых образований свидетельствуют о нарастании фосфатных слоев в закономерной последовательности с марганцовистыми.

4. Фосфатные слои, участвующие в строении дендритов или прослоев с волнистослоистой текстурой, развивались в среде фосфатизированного нанофораминиферового осадка, являющегося питательной средой для них. Массы этих осадков в изобилии содержат раковины микроорганизмов, к ним приурочены зерна ТР минералов.

5. Вероятно, наличие скоплений илистого материала, перекрывающего поверхность корки, — необходимое условие образования фосфатных субмикроскопических слоев. Сохранение таких скоплений в процессе роста свидетельствует о господстве в это время застойной гидродинамической обстановки, что и определяло возможность действия автоколебательного механизма накопления микрослоев. Подтверждением этому служит стабильный состав марганцовистых и фосфатных фаз, являющихся продуктом повторяющихся однотипных реакций.

6. Рост корок и накопление фосфатного материала — самостоятельные, независимые один от другого процессы. Фосфатизация корок в разнообразных формах происходит тогда, когда эти процессы совпадают во времени и пространстве.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Батулин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 303 с.
2. Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.П., Купцов В.М., Лисицына Н.А., Подражанский А.М. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана. М.: Наука, 1990. 229 с.
3. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Ю.Г. Волохин, М.Е. Мельников, Э.Л. Школьник и др. М.: Наука, 1995. 368 с.
4. Мельников М.Е., Пуляева И.А. Железомарганцевые корки поднятия Маркус-Уэйк и Магеллановых гор Тихого океана: строение, состав, возраст // Тихоокеанская геология. 1994. № 4. С. 13—27.
5. Пунин Ю.О., Сметанникова О.Г., Демидова Г.Е., Смольская Л.С. О динамике формирования океанических железомарганцевых конкреций // Литология и полезн. ископаемые. 1995. № 1. С. 40—50.
6. Рудные корки подводных поднятий Мирового океана / Кругляков В.В., Мельников М.Е., Голева Р.В. и др. Геленджик, 1993. 128 с.
7. Школьник Э.Л., Тан Тяньфу, Сюэ Яосон, Юй Цунлю. Фосфориты гайотов Западной приэкваториальной области Тихого океана (Магеллановы горы, регион Маркус-Неккер, Императорский хребет) // Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 65—68.

Московский государственный университет  
Рецензент — В.Е.Бойцов

УДК 553.044:622.342.1(571.65)

В.С. ШАПОВАЛОВ

## ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ЗОЛОТА ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ КОЛЫМЫ

Рассмотрен новый подход к укрупненной прогнозной оценке запасов техногенных россыпей золота — через аддитивную оценку общих (эксплуатационных и технологических) потерь при предшествующей разработке с учетом трех основных факторов: первичного богатства россыпи, кратности ее отработки и крупности самородного золота. В зависимости от сочетания этих факторов дана количественная оценка потерь, составляющая суть прогнозного ресурса металла по каждому оцениваемому техногенному объекту. Использование этой зависимости, выраженной в табличном виде, позволяет давать прогноз практически по каждой колымской россыпи: затронутой эксплуатацией или неоднократно отработанной.

При прогнозировании запасов техногенных россыпей (ТР) золота наиболее важна оценка общих потерь металла при первичной (предшествующей) отработке россыпи, которые обусловлены

суммой эксплуатационных и технологических потерь и зависят от ряда геолого-экономических, горно-технических и технологических факторов. К ним относятся: геолого-металлогеническая по-