Закономерности распределения содержаний алмазов в кимберлитовых трубках Якутской провинции

Геннадий Петрович ДВОРНИК*

Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы обусловлена важным промышленным значением месторождений кимберлитового типа в добыче ювелирных и технических алмазов.

Цель работы: изучение закономерностей распределения концентраций алмазов в кимберлитовых трубках.

Фактический материал: представительные данные по опробованию разведочных скважин и горных выработок с определением содержаний алмазов в пробах кимберлитов и их химического состава (1911 анализов).

Результаты исследований. Среднепалеозойские кимберлитовые трубки Якутской провинции по уровню алмазоносности подразделяются на три группы: высокопродуктивные (трубки «Ботуобинская», «Нюрбинская», «Айхал», «Интернациональная», «Мир»), среднепродуктивные (трубки «Удачная-Западная», «Удачная-Восточная», «Сытыканская», «Юбилейная») и низкопродуктивные (трубка «Комсомольская»). Для высокопродуктивных кимберлитовых трубок характерно преобладание в процентном отношении проб с весьма высокими и высокими содержаниями алмазов, для среднепродуктивных трубок – превалирование проб со средним и низкими концентрациями алмазов, для Комсомольской трубки с низкой продуктивностью – преобладание проб с низкими содержаниями алмазов. По мере уменьшения продуктивности трубок возрастает их амплитудная изменчивость – от равномерного до крайне неравномерного распределения концентраций алмазов в кимберлитах. В большинстве изученных кимберлитовых трубок с различной продуктивностью в распределении содержаний алмазов на верхних, средних и нижних горизонтах в интервалах глубины от 0 до 1260 м установлено закономерное снижение средних концентраций алмазов на более глубоких горизонтах месторождений. На распределение содержаний алмазов в кимберлитовых трубках оказали влияние проявившиеся в их пределах гидротермально-метасоматические процессы карбонатизации и окварцевания. Вследствие развития этих процессов в высокопродуктивных и среднепродуктивных трубках провинции отмечается закономерное уменьшение средних концентраций алмазов в карбонатизированных и окварцованных кимберлитах в сравнении с их содержаниями в слабо измененных кимберлитах.

Ключевые слова: кимберлитовые трубки, глубина, метасоматические процессы, содержания алмазов, распределение.

Введение

Кимберлитовые месторождения Якутской провинции вносят решающий вклад в добычу ювелирных и технических алмазов в России. Со времени открытия в провинции геологом Ларисой Попугаевой первой алмазоносной кимберлитовой трубки «Зарница» прошло 66 лет. За этот период в Якутской провинции в результате проведения планомерных геологоразведочных работ было выявлено 24 кимберлитовых поля (рис. 1) с разной степенью опосредованности и разведанности [1–5]. В этом аспекте важное практическое значение имеет изучение закономерностей распределения концентраций алмазов в разведанных и разрабатываемых кимберлитовых трубках для прогнозирования уровня алмазоносности в менее изученных кимберлитовых полях. Объектами проведенных исследований являются кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста [7, 8] 11 алмазных месторождений: трубки «Ботуобинская», «Нюрбинская», «Майская» (Накынское поле), «Интернациональная», «Мир» (Мирнинское поле),

«Айхал», «Сытыканская», «Юбилейная», «Комсомольская» (Алакит-Мархинское поле), «Удачная-Западная» и «Удачная-Восточная» (Далдынское поле), расположенные в южной части Якутской провинции, в бассейнах рек Вилюй и Марха (рис. 1).

Фактическим материалом для изучения особенностей распределения содержаний алмазов в кимберлитовых трубках Якутской провинции послужили представительные данные по опробованию разведочных скважин и горных выработок, проведенному акционерной компанией АЛРОСА, с определением концентраций алмазов в пробах кимберлитов и их химического состава (1911 анализов), приведенные в работе В. Б. Василенко с соавторами [9].

Распределение содержаний алмазов в кимберлитовых трубках. Коренные месторождения алмазов в кимберлитовых трубках по размерам и форме тел, особенностям их внутреннего строения, характеру распределения в

*apdvornik@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

Рис. 1. Расположение кимберлитовых полей Якутской провинции [6]: 1–24 – поля провинции: 1 – Мирнинское, 2 – Накынское, 3 – Алаkit-Мархинское, 4 – Далдынское, 5 – Верхнемунское, 6 – Чомурдахское, 7 – Огоньер-Юряхское, 8 – Западно-Укуитское, 9 – Восточно-Укуитское, 10 – Мерчимденское, 11 – Молодинское, 12 – Толуопское, 13 – Куойкское, 14 – Хорбсуонское, 15 – Томторское, 16 – Эбеляхское, 17 – Ыаргинское, 18 – Старореченское, 19 – Ары-Мастахское, 20 – Дюкенское, 21 – Лучаканское, 22 – Биригиндинское, 23 – Куранахское, 24 – Анабарское.

Figure 1. Disposition kimberlites fields Yakutian province [6]. 1–24 – field province: 1 – Mirninskoe, 2 – Nakinskoe, 3 – Alakit-Marhinskoe, 4 – Daldinskoe, 5 – Verkhnemunskoe, 6 – Chomurdakhskoe, 7 – Ogoner-Jurjakhsckoe, 8 – Western-Ukukitskoe, 9 – Eastern-Ukukitskoe, 10 – Merchimdenskoe, 11 – Molodinskoe, 12 – Toluopskoe, 13 – Kuoikskoe, 14 – Khorbuzonskoe, 15 – Tomtorskoe, 16 – Ebelyakhskoe, 17 – Iarginskoe, 18 – Starorechenskoe, 19 – Ari-Mastakhskoe, 20 – Dukenskoe, 21 – Luchakanskoe, 22 – Birigindinskoe, 23 – Kuranakhskoe, 24 – Anabarskoe.

них содержаний алмазов соответствуют 2-й и 3-й группам сложности по классификации ГКЗ. На месторождениях кимберлитового типа по концентрации алмазов выделяются тела с весьма высокими (>3 кр/т), высокими (1–3 кр/т), средними (0,3–1 кр/т) и низкими ($< 0,3$ кр/т) содержаниями [10]. Кимберлитовые трубки Якутской провинции по уровню алмазоносности подразделяются на три группы: высокопродуктивные (трубки «Ботуобинская», «Нюрбинская», «Айхал», «Интернациональная», «Мир»), среднепродуктивные (трубки «Удачная-Западная», «Удачная-Восточная», «Сытыканская», «Юбилейная») и низкопродуктивные (трубка «Комсомольская») (табл. 1).

Для распределения содержаний алмазов в высокопродуктивных кимберлитовых трубках характерно

преобладание в процентном отношении проб с весьма высокими и высокими концентрациями алмазов при средних содержаниях 2–8 кр/т. Оценка амплитудной изменчивости в распределении концентраций алмазов в кимберлитовых трубках Якутской провинции проводилась с использованием вероятностно-статистической модели [11, 12], основной характеристикой которой является коэффициент вариации оценочных параметров (мощности тел, содержаний полезных компонентов). В группе трубок с высокой продуктивностью наименьшей амплитудной изменчивостью концентраций алмазов от равномерного до неравномерного распределения по значениям коэффициента вариации выделяются кимберлиты трубки «Интернациональная», а наибольшей изменчивостью от

равномерного до весьма неравномерного распределения содержаний алмазов – кимберлиты трубки «Мир» (табл. 1). Для кимберлитовых трубок со средней продуктивностью характерно преобладание в распределении алмазов проб со средними и низкими их концентрациями при средних содержаниях 0,5–1 кр/т. Среди них по значениям коэффициента вариации наибольшая амплитудная изменчивость установлена в кимберлитах трубки «Юбилейная» – от неравномерного до крайне неравномерного распределения содержаний алмазов, а наименьшая изменчивость – в распределении концентраций алмазов в кимберлитах трубки «Удачная-Восточная». Низкопродуктивные кимберлиты трубки «Комсомольская» выделяются резким преобладанием в процентном отношении проб с низкими содержаниями алмазов при крайне неравномерном по значениям коэффициентов вариации распределении концентраций алмазов.

В большинстве исследованных высокопродуктивных кимберлитовых трубок Якутской провинции («Ботубинской», «Нюрбинской», «Майской», «Айхал», «Мир») в распределении содержаний алмазов на верхних, средних и нижних горизонтах в интервалах глубины от 0 до 1260 м (табл. 1) установлено закономерное снижение средних концентраций алмазов в кимберлитах в 1,5–2,7 раза на более глубоких горизонтах месторождений. И только в кимберлитах трубки «Интернациональная» отмечается наименьшее среднее содержание алмазов в верхней части месторождения. В среднепродуктивных и низкопродуктивных кимберлитовых трубках («Удачной-Западной», «Удачной-Восточной», «Сытыканской», «Комсомольской») в интервалах от 0 до 1090 м с увеличением глубины установлено еще более резкое уменьшение средних концентраций алмазов в кимберлитах в 2,2–11,8 раза. В кимберлитах трубки «Юбилейная» распределение содержаний алмазов на глубину более сложное, в интервале от 100 до 200 м отмечается снижение средней концентрации алмазов в них, а на более глубоких горизонтах она возрастает.

Общий уровень алмазоносности кимберлитовых трубок Якутской провинции, по данным ранее проведенных исследований [13–17], находится в зависимости от глубины формирования кимберлитов, уменьшаясь в направлении с юга на север от более глубинных к менее глубинным телам продуктивных кимберлитов. В этом направлении в средних составах алмазоносных кимберлитов закономерно возрастает содержание TiO_2 (0,43–1,79 %) и уменьшается концентрация K_2O (1,21–0,49 %), табл. 2. Другим фактором, влияющим на распределение содержаний алмазов в кимберлитовых трубках провинции, являются проявившиеся в их пределах постмагматические гидротермально-метасоматические процессы ранней карбонатизации (кальцитизации, доломитизации), окварцевания и поздней карбонатизации, имевшей более локальное распространение в форме прожилков или гнезд кальцита и доломита, в результате которых произошли частичные растворение и рекристаллизация алмазов в кимберлитах [18–21]. Эти процессы по своей направленности и химизму сопоставимы с процессами карбонатизации и окварцевания ультраосновных пород, приведшими к формированию апатитового оруденения селигдарского типа в

Южной Якутии [22, 23]. В пределах алмазоносных трубок Якутской провинции измененные метасоматическими процессами карбонатизации и окварцевания кимберлиты не имеют сплошного площадного распространения. Они образуют на разных по глубине горизонтах трубок отдельные сложнопостроенные зоны мощностью от первых метров до десятков метров с разной степенью метасоматических преобразований. Так, количество существенно измененных окварцованных кимберлитов в трубке «Мир» составляет около 20 %, а в трубке «Нюрбинская» – 43% от количества слабо измененных кимберлитов [24, 25].

Проявившиеся в кимберлитовых трубках Якутской провинции метасоматические процессы карбонатизации и окварцевания в определенной степени обусловили вариации среднего химического состава алмазоносных кимберлитов на разных горизонтах по содержанию в них кремнезема, оксидов магния и кальция (табл. 2). Так, в кимберлитах трубок «Ботубинская», «Майская» и «Юбилейная» в результате их карбонатизации на верхних горизонтах отмечается увеличение в них содержаний оксида кальция и уменьшение концентраций оксида магния. А в трубках «Нюрбинская», «Интернациональная» и «Мир» вследствие окварцевания кимберлитов увеличиваются средние содержания кремнезема. Более контрастные различия установлены при сопоставлении средних химических составов слабо измененных, карбонатизированных и окварцованных алмазоносных кимберлитов в трубках Якутской провинции (табл. 3). Сформировавшиеся в раннюю щелочную стадию гидротермального процесса кальцитизированные и доломитизированные кимберлиты выделяются более высокими содержаниями оксидов кальция, потерь при прокаливании, более низкими концентрациями оксида магния и кремнезема в сравнении со слабо измененными кимберлитами. Развитые в пределах высокопродуктивных кимберлитовых трубок («Ботубинской» и «Нюрбинской») кальцитизированные кимберлиты характеризуются в отличие от слабо измененных кимберлитов более низким в процентном отношении количеством проб с весьма высокими содержаниями алмазов, более высокой амплитудной изменчивостью концентраций алмазов от неравномерного до весьма неравномерного их распределения при меньших в 2,3–2,7 раза средних содержаниях алмазов (табл. 4). Также установлено в сравнении со слабо измененными кимберлитами закономерное снижение средних концентраций алмазов в 1,7–2,3 раза в доломитизированных кимберлитах, образовавшихся в высокопродуктивных и среднепродуктивных трубках. Окварцованные кимберлиты сформировались в стадию кислотного выщелачивания. Они отличаются от слабо измененных кимберлитов более высокими содержаниями кремнезема и более низкими концентрациями оксидов кальция и магния, потерь при прокаливании (п. п.), табл. 3. Для распространенных в пределах высокопродуктивных трубок («Ботубинской», «Нюрбинской», «Интернациональной», «Мир») окварцованных кимберлитов характерна наибольшая амплитудная изменчивость концентраций алмазов от равномерного до весьма неравномерного их распределения (табл. 4) при уменьшении средних содержаний алмазов в 1,3–1,8 раза в сопоставлении со слабо измененными кимберлитами.

Таблица 1. Распределение содержаний алмазов на разных интервалах глубины в кимберлитовых трубках Якутской провинции.
Table 1. Distribution contents diamonds on different intervals of depth in the kimberlites pipes Yakutian province.

Трубки	Интервалы глубины, м	Количество проб	Содержания, %				Среднее содержание, кар/т	Коэффициент вариации, %
			Весьма высокие	Высокие	Средние	Низкие		
Высокопродуктивные	82–100	30	53	23	17	7	3,80	79,33
	102–200	134	76	16	6	2	7,76	80,16
	201–300	85	92	6	2	–	10,09	70,59
	301–399	87	88	8	2	2	9,56	91,06
	403–499	87	90	9	1	–	7,26	58,09
	502–594	41	88	10	–	2	7,83	54,37
	604–766	21	76	14	5	5	6,71	95,45
	Среднее	485	82	12	4	2	8,12	54–95
	55–100	108	90	9	1	–	8,75	71,48
	101–200	102	85	11	2	2	7,09	67,45
	200–296	66	83	9	2	6	6,25	61,62
	303–397	29	83	7	10	–	6,92	66,47
	400–485	28	71	25	4	–	5,76	82,23
	500–710	20	50	25	10	15	3,70	78,86
	Среднее	353	82	12	3	3	7,13	62–82
	80–136	29	90	–	7	3	8,67	64,43
	137–295	21	33	19	43	5	3,27	127,97
	Среднее	50	66	8	22	4	6,40	64–128
	212–385	39	79	13	3	5	5,39	55,97
	439–600	41	63	32	5	–	4,57	66,00
	603–795	36	39	31	14	16	2,42	82,27
	Среднее	116	61	25	7	7	4,18	56–82
	5–187	27	7	74	19	–	1,64	56,04
	204–422	20	70	25	5	–	4,78	67,85
	425–599	31	65	32	3	–	3,88	43,13
	604–800	31	68	29	3	–	4,20	69,46
	807–964	22	59	14	23	4	4,11	67,35
	Среднее	131	53	36	10	1	3,67	43–69
	0–10	42	26	74	–	–	2,45	44,81
	20–30	32	22	63	12	3	2,31	59,57
	600–790	46	16	48	28	8	1,94	83,88
	800–1010	20	25	50	25	–	2,14	77,80
	1070–1260	30	13	20	50	17	1,41	122,81
	Среднее	170	19	53	22	6	2,06	45–123
Среднепродуктивные	0–200	23	8	63	21	8	1,67	101,98
	210–400	24	4	29	63	4	0,95	73,55
	410–750	20	5	30	50	15	0,92	87,51
	Среднее	67	6	41	44	9	1,20	74–102
	10–200	27	–	59	41	–	1,18	46,15
	200–400	20	–	30	35	35	0,73	88,14
	410–620	21	–	33	14	53	0,68	103,99
	650–896	20	–	10	5	85	0,27	124,82
	900–1090	23	–	–	4	96	0,10	88,00
	Среднее	111	–	26	20	54	0,62	46–125
	1–100	37	3	6	42	49	0,62	220,83
	102–197	84	4	11	30	55	0,71	258,39
	202–300	58	2	14	33	51	0,55	129,29
	301–399	38	–	11	18	71	0,31	118,59
	Среднее	217	2	11	32	55	0,58	119–258
Низкопродуктивные	50–100	29	7	3	28	62	0,62	186,77
	100–200	64	–	3	38	59	0,33	121,56
	206–300	50	–	8	40	52	0,44	96,61
	304–396	25	4	12	56	28	0,84	109,25
	Среднее	168	2	6	39	53	0,49	97–187
	60–158	21	5	–	24	71	0,36	221,19
	160–320	22	–	–	9	91	0,07	210,00
	Среднее	43	2	–	16	82	0,21	210–221

Таблица 2. Средний химический состав алмазоносных кимберлитов на разных интервалах глубины в трубках Якутской провинции.
Table 2. Average chemical composition kimberlites content diamonds on different intervals of depth in pipes Yakutian province.

Трубки	Интервалы глубины, м	Количество проб	Содержания оксидов, мас. %											Сумма
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	
Высокопродуктивные	82–100	30	28,23	0,51	5,79	5,43	–	14,16	18,92	–	1,58	0,48	24,35	99,45
	102–200	134	27,58	0,41	3,82	5,12	–	20,53	17,70	–	0,99	0,46	23,45	100,06
	201–300	85	30,64	0,43	3,57	5,45	–	26,46	12,19	–	1,13	0,43	19,92	100,22
	301–399	87	29,82	0,45	3,45	5,86	–	25,84	12,61	–	1,38	0,45	20,50	100,36
	403–499	87	31,38	0,41	3,69	5,31	–	26,09	11,84	–	1,19	0,42	20,17	100,50
	502–594	41	30,88	0,40	3,47	5,45	–	25,50	12,50	–	1,39	0,45	20,26	100,30
	604–766	21	28,60	0,52	3,35	6,09	–	23,98	14,51	–	1,37	0,63	21,05	100,10
	Среднее	485	29,56	0,43	3,76	5,43	–	23,69	14,27	–	1,21	0,45	21,40	100,20
	55–100	108	33,88	0,56	4,64	6,86	0,14	21,00	11,59	0,09	0,54	0,49	20,68	100,47
	101–200	102	29,98	0,44	4,05	5,57	0,13	23,36	13,63	0,19	1,10	0,44	21,39	100,28
	200–296	66	31,30	0,43	4,11	5,52	0,13	23,89	12,48	0,43	1,14	0,42	20,40	100,25
	303–397	29	32,04	0,58	4,27	6,66	0,13	24,98	11,44	0,17	0,99	0,46	18,86	100,58
	400–485	28	30,92	0,65	4,18	6,08	0,12	22,70	13,49	0,14	1,48	0,56	20,02	100,34
	500–710	20	31,10	0,49	4,55	5,86	0,11	23,72	13,85	0,13	1,42	0,55	18,67	100,45
	Среднее	353	31,70	0,51	4,30	6,10	0,13	22,84	12,61	0,19	0,98	0,47	20,52	100,35
	80–125	28	29,62	0,48	4,67	6,98	0,14	20,90	15,06	0,18	0,76	0,52	21,10	100,41
	137–295	21	26,10	0,34	4,23	3,36	0,12	17,42	19,34	0,35	1,73	0,42	26,89	100,30
	Среднее	49	28,11	0,42	4,48	5,43	0,13	19,41	16,89	0,29	1,18	0,48	23,58	100,40
	212–385	39	24,15	0,49	2,63	4,42	0,12	25,74	15,17	0,05	0,87	0,74	25,66	100,04
	439–600	41	24,60	0,43	2,72	3,78	0,13	25,98	14,81	0,09	1,04	0,65	25,82	100,05
	603–795	36	23,30	0,44	2,32	4,04	0,11	25,27	15,18	0,04	1,01	0,62	27,65	100,28
	Среднее	116	24,05	0,45	2,57	4,08	0,12	25,77	15,05	0,06	0,97	0,67	26,33	100,12
	5–187	27	39,11	0,34	3,61	5,77	0,10	23,20	9,72	0,15	0,62	0,35	17,38	100,35
	204–422	20	37,15	0,47	3,06	6,07	0,09	24,78	9,71	0,43	0,75	0,51	17,39	100,41
	425–599	31	30,45	0,51	2,41	6,58	0,11	30,26	7,95	0,49	0,68	0,42	20,53	100,39
	604–800	31	28,59	0,48	2,46	5,96	0,08	29,01	7,80	2,02	0,90	0,39	22,61	100,30
	807–964	22	29,79	0,42	2,57	5,88	0,10	29,03	6,79	1,49	1,14	0,48	22,52	100,21
	Среднее	131	32,71	0,45	2,80	6,07	0,10	27,47	8,35	0,94	0,81	0,42	20,23	100,35
Среднепродуктивные	0–10	42	32,05	1,19	2,38	8,72	0,13	25,83	8,29	0,08	0,41	0,24	20,81	100,13
	20–30	32	31,75	1,31	2,52	9,28	0,13	26,87	7,30	0,08	0,41	0,26	18,89	98,80
	600–790	46	31,63	1,30	2,34	8,80	0,14	28,69	7,74	0,69	1,05	0,37	17,78	100,53
	800–1010	20	29,61	1,59	2,01	8,96	0,13	29,48	8,73	0,53	1,02	0,48	17,95	100,49
	1070–1260	30	28,82	1,77	2,05	9,05	0,13	28,72	8,74	0,52	0,90	0,53	19,24	100,47
	Среднее	170	31,02	1,39	2,29	8,93	0,13	27,74	8,30	0,38	0,74	0,36	19,02	100,30
	0–200	23	26,86	0,83	2,42	6,48	–	26,97	13,35	0,18	0,65	0,37	21,97	100,08
	210–400	24	27,37	0,93	2,50	7,06	–	28,09	12,07	0,20	0,74	0,35	20,93	100,24
	410–750	20	25,80	0,89	2,08	5,98	–	25,78	15,17	0,29	0,88	0,34	23,11	100,32
	Среднее	67	26,73	0,88	2,35	6,54	–	27,02	13,43	0,22	0,75	0,35	21,94	100,21
	10–200	27	26,73	1,35	2,14	7,14	–	29,30	11,84	0,23	0,44	0,33	19,98	99,48
	200–400	20	24,96	1,19	2,33	6,47	–	26,75	15,57	0,20	0,85	0,34	21,76	100,42
	410–620	21	25,61	1,24	2,07	7,19	–	27,68	13,95	0,51	1,00	0,34	20,96	100,55
	650–896	20	26,27	1,18	2,27	6,98	–	25,92	15,25	0,33	0,84	0,37	20,86	100,27
	900–1090	23	26,00	1,30	1,96	7,20	–	28,84	12,75	0,27	0,70	0,39	20,66	100,07
	Среднее	111	25,97	1,26	2,15	7,01	–	27,83	13,71	0,30	0,75	0,35	20,79	100,12
	1–100	37	29,02	1,58	1,91	8,08	0,11	23,65	14,12	0,12	0,15	0,22	20,60	99,56
	102–197	84	29,86	1,72	2,11	8,20	0,11	28,65	9,84	0,10	0,18	0,24	19,07	100,08
	202–300	58	30,02	1,81	1,96	8,88	0,15	31,01	7,38	0,09	0,23	0,31	18,11	99,95
	301–399	38	29,22	2,04	2,40	8,76	0,14	30,12	7,72	0,11	0,33	0,36	18,84	100,04
	Среднее	217	29,65	1,78	2,05	8,46	0,13	28,69	9,54	0,10	0,21	0,28	19,03	99,92
	50–100	29	24,68	0,92	1,66	7,41	0,15	20,63	18,89	0,13	0,25	0,37	25,45	100,54
	100–200	64	28,39	1,09	1,73	7,32	0,14	28,60	11,02	0,10	0,24	0,39	21,41	100,43
	206–300	50	29,43	1,01	2,15	6,60	0,14	28,15	11,62	0,12	0,29	0,39	20,53	100,43
	304–396	25	30,30	0,90	2,07	6,88	0,15	31,42	8,68	0,11	0,27	0,37	19,66	100,81
	Среднее	168	28,34	1,01	1,89	7,06	0,14	27,50	12,21	0,11	0,26	0,38	21,59	100,49
Низкопродуктивные	60–158	21	31,67	1,72	2,75	8,97	–	26,27	10,03	–	0,29	0,24	18,17	100,11
	160–320	22	29,62	1,86	3,08	7,00	–	25,34	12,27	–	0,68	0,31	19,74	99,90
	Среднее	43	30,62	1,79	2,92	7,96	–	25,79	11,18	–	0,49	0,28	18,97	100,00

Таблица 3. Средний химический состав слабо измененных, карбонатизированных и окварцованных алмазоносных кимберлитов в трубках Якутской провинции.

Table 3. Average chemical composition faintly altered, carbonatized and quartz kimberlites content diamonds in pipes Yakutian province.

Трубки	Тип кимберлитов	Ко- личе- ство проб	Содержания оксидов, мас. %											Сумма		
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.			
Высокопродуктивные	Ботубинская	Слабо изме- ненные	30	28,13	0,43	3,11	6,41	–	26,15	13,00	–	0,82	0,48	21,81	100,34	
		Кальцитизи- рованные	25	17,11	0,36	4,09	3,23	–	8,48	32,82	–	1,44	0,52	31,95	100,00	
		Доломитизи- рованные	31	20,51	0,37	4,14	4,30	–	15,98	22,81	–	1,43	0,43	30,15	100,12	
		Окварцован- ные	25	41,20	0,69	6,83	7,76	–	20,72	6,06	–	1,58	0,42	14,78	100,03	
	Нюрбинская	Слабо изме- ненные	21	28,45	0,41	3,51	5,87	0,13	26,65	12,05	0,01	0,65	0,47	22,15	100,35	
		Кальцитизи- рованные	20	20,60	0,36	3,48	3,41	0,13	13,45	26,82	0,02	1,08	0,53	30,32	100,20	
		Доломитизи- рованные	24	19,53	0,39	3,78	4,11	0,13	18,53	21,21	0,02	1,42	0,49	30,66	100,27	
		Окварцован- ные	20	51,79	1,08	6,34	8,17	0,13	13,18	5,31	0,17	1,21	0,42	12,00	99,80	
	Майская	Слабо изме- ненные	20	30,19	0,40	3,31	6,05	0,13	25,99	12,91	0,02	0,71	0,47	20,16	100,34	
		Доломитизи- рованные	20	25,55	0,39	4,70	3,95	0,12	16,43	19,76	0,01	1,62	0,47	26,95	99,95	
	Айхал	Слабо изме- ненные	27	26,62	0,45	2,28	4,27	0,13	27,97	12,52	0,04	0,82	0,66	24,30	100,13	
		Доломитизи- рованные	26	17,99	0,40	2,51	3,21	0,12	22,20	20,47	0,04	1,24	0,66	31,37	100,21	
	Среднепродуктивные	Интернациональная	Слабо изме- ненные	22	27,84	0,47	2,03	6,27	0,08	29,99	7,75	1,82	0,85	0,44	22,80	100,34
			Окварцован- ные	28	42,41	0,36	4,07	5,52	0,09	23,24	7,78	0,33	0,79	0,31	15,39	100,29
		Мир	Слабо изме- ненные	23	27,71	1,71	1,93	9,06	0,13	28,49	9,52	0,36	0,79	0,54	20,18	100,52
			Окварцован- ные	20	37,21	0,95	3,30	7,71	0,14	26,59	6,33	0,50	0,99	0,22	16,40	100,34
Удачная-Западная		Слабо изме- ненные	23	27,44	1,01	2,25	7,73	–	30,00	11,04	0,20	0,71	0,36	19,31	100,05	
		Доломитизи- рованные	20	23,20	0,74	2,36	5,75	–	22,62	17,90	0,25	0,95	0,32	26,18	100,27	
Удачная-Восточная		Слабо изме- ненные	24	26,68	1,38	1,99	7,92	–	29,74	11,56	0,37	0,66	0,40	19,53	100,23	
		Доломитизи- рованные	20	21,65	0,99	2,37	5,25	–	20,87	21,78	0,39	1,04	0,33	25,29	99,96	
Сытыканская	Слабо изме- ненные	37	29,33	2,00	2,04	9,64	0,15	32,34	5,42	0,09	0,25	0,35	18,21	99,82		
	Доломитизи- рованные	20	22,65	1,44	2,19	7,31	0,13	17,73	22,35	0,17	0,31	0,28	25,82	100,72		
	Юбилейная	Слабо изме- ненные	38	29,02	1,11	1,84	7,96	0,14	32,88	6,53	0,12	0,23	0,41	20,12	100,36	
		Доломитизи- рованные	27	23,51	0,96	1,83	6,20	0,14	18,86	21,53	0,13	0,29	0,35	26,64	100,44	

Таблица 4. Распределение содержаний алмазов в слабо измененных, карбонатизированных и окварцованных кимберлитах в трубках Якутской провинции.**Table 4. Distribution contents diamonds in faintly altered, carbonatized and quartz kimberlites in pipes Yakutian province.**

Трубки	Тип кимберлитов	Количество проб	Содержания, %				Содержание, кар/т	Коэффициент вариации, %
			Весьма высокие	Высокие	Средние	Низкие		
Высокопродуктивные	Слабо измененные	30	97	3	–	–	11,11	69,91
	Кальцитизированные	25	48	32	16	4	4,12	106,76
	Доломитизированные	31	58	36	3	3	5,90	185,10
	Окварцованные	25	64	4	24	8	6,22	100,25
	Слабо измененные	21	90	10	–	–	9,40	87,57
	Кальцитизированные	20	50	30	10	10	4,11	71,58
	Доломитизированные	24	63	25	8	4	4,23	66,82
	Окварцованные	20	85	15	–	–	6,42	48,35
	Слабо измененные	20	80	15	5	–	7,43	70,55
	Доломитизированные	20	40	5	40	15	3,26	119,14
	Слабо измененные	27	81	11	–	8	5,68	62,95
	Доломитизированные	26	46	35	8	11	3,37	76,94
	Слабо измененные	22	63	27	5	5	4,66	82,96
	Окварцованные	28	43	43	14	–	3,29	78,14
	Слабо измененные	23	30	52	18	–	2,89	89,33
	Окварцованные	20	30	35	15	20	2,15	76,49
Среднепродуктивные	Слабо измененные	23	12	44	44	–	1,61	111,98
	Доломитизированные	20	–	40	35	25	0,89	73,57
	Слабо измененные	24	–	50	4	46	0,94	90,94
	Доломитизированные	20	–	20	25	55	0,43	100,82
	Слабо измененные	37	8	22	14	56	0,86	150,06
	Доломитизированные	20	–	10	20	70	0,39	129,68
	Слабо измененные	38	5	11	34	50	0,67	138,20
	Доломитизированные	27	–	7	15	78	0,32	145,34

Заключение

Кимберлитовые трубки среднепалеозойского возраста в Якутской провинции по уровню алмазоносности подразделяются на высокопродуктивные, среднепродуктивные и низкопродуктивные. Для кимберлитовых трубок с высокой продуктивностью характерно преобладание проб с весьма высокими и высокими содержаниями алмазов, для трубок со средней продуктивностью – превалирование проб со средними и низкими концентрациями алмазов, для трубки «Комсомольская» с низкой продуктивностью – преобладание проб с низкими содержаниями алмазов при возрастании по значениям коэффициентов вариации амплитудной изменчивости от равномерного до крайне неравномерного распределения концентраций алмазов в кимберлитах по мере уменьшения их продуктивности. В распределении содержаний

алмазов на верхних, средних и нижних горизонтах в большинстве изученных кимберлитовых трубок с различной продуктивностью установлено закономерное снижение средних содержаний алмазов на более глубоких горизонтах месторождений. На распределение концентраций алмазов в кимберлитовых трубках Якутской провинции помимо глубины их формирования, определяющей общий уровень их алмазоносности, влияли проявившиеся в их пределах гидротермально-метасоматические процессы карбонатизации и окварцевания. В результате развития этих процессов в высокопродуктивных и среднепродуктивных кимберлитовых трубках провинции отмечается закономерное уменьшение средних содержаний алмазов в карбонатизированных и окварцованных кимберлитах в сравнении с их концентрацией в слабо измененных кимберлитах.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания ИГГ УрО РАН (номер гос. регистрации ААА-А-А18-118052590028-9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 371 с.
2. Подчасов В. М., Минорин В. Е., Богатых И. Я. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов. Мирный: АПРОСА, 2003. 338 с.
3. Кротков В. В., Кудрявцева Г. П., Богатиков Е. П. и др. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС, 2001. 309 с.
4. Минорин В. Е. Прогнозно-поисковые модели алмазоносных россыпей России. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 2001. 117 с.
5. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. М.: Недра, 1997. 601 с.
6. Василенко В. Б., Толстов А. В., Минин В. А., Кузнецова Л. Г. Нормативный кварц как критерий интенсивности массопереноса при постмагматическом изменении кимберлитов трубки Ботуобинская // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 12. С. 1189–1204.
7. Брахфогель Ф. Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. 128 с.
8. Подвысоцкий В. Т. Терригенные алмазоносные формации Сибирской платформы. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2000. 330 с.
9. Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Зинчук Н. Н. Петрохимическая фактография кимберлитовой провинции Восточной Сибири. Новосибирск: Параллель, 2019. 764 с.
10. Ваганов В. И. Минеральное сырье. Алмазы: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 51 с.
11. Дворник Г. П. Оценка изменчивости содержания золота и серебра в рудах и их качества при разведке и разработке золоторудных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 3. С. 120–125.
12. Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 126 с.
13. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 554 с.
14. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1997. 574 с. URL: <http://www.uiggm.nsc.ru/load/load.html>
15. Шкодзинский В. С. Генезис литосферы и алмазов. Модель горячей гетерогенной аккреции Земли. Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2015. 687 с.
16. Dawson J. B. Kimberlites and their xenoliths. Berlin: Springer-Verlag, 1980. 300 p.
17. Mitchell R. H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. N. Y.: Plenum press, 1986. 442 p.
18. Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Мельник Ю. М. и др. Вторичные минералы кимберлитов. Киев: Наук. думка, 1987. 282 с.
19. Зинчук Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 537 с.
20. Кимберлиты и карбонатиты: сборник статей / под ред. В. Б. Василенко. Новосибирск: Параллель, 2013. 745 с.
21. Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Толстов А. В., Минин В. А. Основные процессы, определяющие вторичные изменения кимберлитов // Геохимия. 2016. № 4. С. 396–406. <https://doi.org/10.7868/S0016752516020072>
22. Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Холодова Л. Д. и др. Апатитовые породы Селигдара. Новосибирск: Наука, 1982. 214 с.
23. Дворник Г. П. Распределение содержаний пентоксида фосфора в апатитовых рудах Селигдарского месторождения (Алданский щит) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского: сб. науч. статей. Пермь: ПГНИУ, 2020. Вып. 23. С. 283–287.
24. Василенко В. Б., Ротман А. Я., Кузнецова Л. Г., Минин В. А., Зинчук Н. Н., Холодова Л. Д. Сравнительная петрохимическая характеристика интенсивности постмагматического изменения кимберлитов Якутии и Африки // Вестник ВГУ. 2008. № 1. С. 34–46.
25. Василенко В. Б., Толстов А. В., Кузнецова Л. Г., Минин В. А. Химический состав и алмазоносность кимберлитов трубки Нюрбинская (В. Сибирь) в процессе вторичного изменения // Геохимия. 2009. № 11. С. 1146–1154.

Статья поступила в редакцию 8 октября 2020 года

Conformities distribution contents diamond in kimberlites pipes Yakutian province

Gennadiy Petrovich DVORNIK*

The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The relevance of the work is due to the importance industrial meaning deposits kimberlites type in the production jewelers and technical diamonds.

Purpose of the work: study conformities of distribution concentrations diamonds in kimberlites pipes.

Factual material: representative data on the sampling prospecting bores and mining excavations with determination contents diamonds in the samples kimberlites and their chemical composition (1911 analyses).

Results research. Middle Paleozoic kimberlites pipes Yakutian province on the level contents diamonds subdivide on the three groups: highly productive (pipes Botuobinskaya, Nurbinskaya, Aikhal, Internatsionalnaya, Mir), middle productive (pipes Udachnaya-west, Udachnaya-east, Sytykansкая, Jybileinaya) and low productive (pipe Komsomolskaya). For highly productive pipes characteristically predominance in percentage samples with very high and high contents diamonds, for middle productive pipes – prevalence samples with middle and low concentrations diamonds, for low productive Komsomolskaya pipe-predominance samples with low contents diamonds. In the kimberlites pipes grow amplitude variability from even to extremely uneven distribution concentrations diamonds on measure diminution their productivity. In the majority study kimberlites pipes with different on upper, middle and low horizons in the intervals of depth from 0 to 1260 metres settled conforming lowering middle concentrations diamonds on the more deep horizons deposits. Show in kimberlites pipes hydrothermal-metasomatic processes carbonatization and quartz influenced on distribution contents diamonds in their. In highly and middle productive pipes province as a result of development these processes marked conforming diminution middle concentrations diamonds in carbonatized and quartz kimberlites in comparison with their contents in faintly altered kimberlites.

Keywords: kimberlites pipes, depth, metasomatic processes, contents diamonds, distribution.

The studies were carried out as part of the state assignment of the IGG UB RAS (state registration number AAAA-A18-118052590028-9).

REFERENCES

1. Vaganov V. I. 2000, *Almaznyye mestorozhdeniya Rossii i mira* [Diamond deposit Russia and world (Basis prediction)]. Moscow, 371 p.
2. Podchasov V. M., Minorin V. E., Bogatykh I. J. 2003, *Prognozirovanie, metodika poiskov, otsenki i razvedki korennykh mestorozhdenii almazov* [Geology, prediction, estimation and prospecting natives deposits of diamonds]. Mirny, 338 p.
3. Krotkov V. V., Kudryavtseva G. P., Bogatkov E. P. et al. 2001, *Novyye tekhnologii razvedki almaznykh mestorozhdenii* [New technology prospecting diamonds deposits]. Moscow, 309 p.
4. Minorin V. E. 2001, *Prognozno-poiskovyye modeli almazonosnykh rossypei Rossii* [Prognostic and searching models diamond content placers Russia]. Moscow, 117 p.
5. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. 1997, *Istoriya almaza* [History of diamond]. Moscow, 601 p.
6. Vasilenko V. B., Tolstov A. V., Minin V. A., Kuznetsova L. G. 2008, Normative quartz how criterion intensity mass transfer by postmagmatic change kimberlites pipe Botuobinskaya. *Geologiya i geofizika* [Geology and geophysics], vol. 49, no. 12. pp. 1189–1204. (In Russ.)
7. Brakhfogel' F. F. 1984, *Geologicheskie aspekty kimberlitovogo magmatizma severo-vostoka Sibirskoy platformy* [Geological aspects kimberlites magmatism north-east Siberia platform]. Yakutsk, 128 p.
8. Podvyotskiy V. T. 2000, *Terrigenyye almazonosnyye formatsii Sibirskoy platformy* [Terrigene diamonds contents formations Siberia platform]. Yakutsk, 330 p.
9. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Zinchuk N. N. 2019, *Petrokhimicheskaya faktografiya kimberlitovoy provintsii Vostochnoy Sibiri* [Petrochemical factography of kimberlites province East Siberia]. Novosibirsk, 764 p.
10. Vaganov V. I. 1998, *Mineral'noye syrye. Almazyy: spravochnik* [Mineral inputs. Diamonds: Reference book]. Moscow, 51 p.
11. Dvornik G. P. 2011, *Estimation changeability of gold and silver content in ores and their quality by prospecting and development gold ore deposits. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal], no. 3, pp. 120–125. (In Russ.)
12. Myagkov V. F. 1984, *Geochemicheskii metod parageneticheskogo analiza rud* [Geochemical method paragenetic analysis of the ores]. Moscow, 126 p.
13. Khar'kov A. D., Zinchuk N. N., Kruchkov A. I. 1998, *Korennyye mestorozhdeniya almazov mira* [Natives deposits of diamonds world]. Moscow, 554 p.
14. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. 1997, *Petrokhimicheskie modeli almaznykh mestorozhdeniy Yakutii* [Petrochemical models of diamonds deposits in Yakutia]. Novosibirsk, 574 p. URL: <http://www.uiggm.nsc.ru/load/load.html>

*qpdvornik@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

15. Shkodzinskiy V. S. 2015, *Genezis litofery ialmazov. Model' goryachey geterogennoy akkretsii Zemli* [Genesis of lithosphere and diamonds. Model of hot heterogenous accretion of the Earth]. Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 687 p.
16. Dawson J. B. 1980, *Kimberlites and their xenoliths*. Berlin: Springer-Verlag, 300 p.
17. Mitchell R. H. 1986, *Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology*. N. Y.: Plenum press, 442 p.
18. Zinchuk N. N., Khar'kiv A. D., Mel'nik Yu. M. et al. 1987, *Vtorichnyye mineralyy kimberlitov* [Replated minerals of kimberlites]. Kiev, 282 p.
19. Zinchuk N. N. 2000, *Postmagmaticheskie mineralyy kimberlitov* [Postmagmatic minerals of kimberlites]. Moscow, 537 p.
20. 2013, *Kimberlity i karbonatity: sbornik statey* [Kimberlites and carbonatites: Collected stories]. Ed. by V. B. Vasilenko. Novosibirsk, 745 p.
21. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Tolstov A. V., Minin V. A. 2016, Basic processes determinative repeated alteration of kimberlites. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 4, pp. 396–406. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0016752516020072>
22. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Kholodova L. D. et al. 1982, *Apatitovyye porodyy Seligdar* [Apatites rocks of Seligdar]. Novosibirsk, 214 p.
23. Dvornik G. P. 2020, Distribution contents of pentoxide phosphorus in the apatite ores Seligdar deposit (Aldanskiy shield). *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo: sbornik nauchnykh statei* [Problem mineralogy, petrography and metallogeny. Scientific readings of memory P. N. Chirvinsky: collected scientific stories]. Perm, issue 23, pp. 283–287. (In Russ.)
24. Vasilenko V. B., Rotman A. Ya., Kuznetsova L. G., Minin V. A., Zinchuk N. N., Kholodova L. D. 2008, Comparative petrochemical description of intensity postmagmatic alteration of kimberlites Yakutia and Africa. *Vestnik VGU* [Bulletin VGU], no. 1, pp. 34–46.
25. Vasilenko V. B., Tolstov A. V., Kuznetsova L. G., Minin V. A. 2009, Chemical composition and diamond content pipe Nurbinskaya (East Siberia) in the process repeated alteration. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 11. pp. 1146–1154.

The article was received on October 8, 2020