

# Россыпеобразующие свойства золотого оруденения участка «Верный» Дегдеканского месторождения в черносланцевых толщах (Магаданская область)

*И. С. Литвиненко*

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,  
Российская Федерация, 685000, Магадан, ул. Портовая, 16

**Для цитирования:** Литвиненко, И. С. (2023). Россыпеобразующие свойства золотого оруденения участка «Верный» Дегдеканского месторождения в черносланцевых толщах (Магаданская область). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 68 (3), 580–595. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.308>

На примере участка «Верный» Дегдеканского месторождения, локализованного в пермских черносланцевых толщах Аян-Юряхского антиклинория Верхояно-Чукотской складчатой области, рассмотрены россыпеобразующие свойства прожилково-вкрапленного золото-сульфидно-кварцевого оруденения в углеродисто-терригенных породах Северо-Востока России. По результатам исследований условий нахождения самородного золота в издробленном (размер обломков 1 мм и менее) материале проб установлено, что степень высвобождения зерен золота фракций 0.1–0.25 и более 0.25 мм из изучаемых руд при приведенных параметрах их физического разрушения составляет в среднем соответственно 33 и 75%. Это определяет относительно высокие россыпеобразующие способности данного типа коренных источников. Расчет баланса самородного золота при формировании отрезка россыпи руч. Дегдекан, тесно сопряженного с рудными зонами участка «Верный», показал его огромные россыпеобразующие возможности даже в условиях перигляциального литогенеза.

*Ключевые слова:* Северо-Восток России, черносланцевые толщи, золото, оруденение, россыпи.

## 1. Введение

Представления о том, что основу золоторудной базы на Северо-Востоке России и, в частности, в Яно-Колымском золотоносном поясе могут составлять крупнообъемные месторождения с жильно-прожилковым и прожилково-вкрапленным оруденением в черносланцевых углеродисто-терригенных толщах, в последнее время находят все большую поддержку. Проблема выявления и оценки таких месторождений на Северо-Востоке России приобретает важное практическое значение.

При выборе наиболее перспективных участков для выявления данного типа объектов слабо используется огромный фактический материал, накопленный при разведке и эксплуатации известных здесь многочисленных россыпей, в том числе уникальных по запасам золота. Роль золотоносных черносланцевых толщ в их формировании является дискуссионной.

Отмеченное положение объясняется тем, что типоморфные свойства самородного золота, условия и формы его нахождения в золотоносных черносланцевых толщах на Северо-Востоке России, за исключением отдельных работ (Плутешко и др., 1988; Остапенко и др., 2004; Литвиненко и Цымбалюк, 2005; Aristov et al., 2021), остаются недостаточно изученными. Вопросы высвобождения зерен золота из данного типа руд под действием различных физико-химических факторов выветривания практически не исследованы. Целью настоящей работы являлась оценка россыпеобразующих свойств золотого оруденения черносланцевых толщ в ходе перигляциального литогенеза в новейший тектонический этап. Для достижения этой цели были определены условия нахождения выделений самородного золота в издробленном материале пяти проб, отобранных из крупнообъемного рудного тела в черносланцевых толщах участка «Верный» Дегдеканского месторождения<sup>1</sup>.

## 2. Методика работ

Исходные пробы массой 3.7–3.8 кг каждая были раздроблены до зерен размером 1 мм и менее.

Отквартованные (методом «конверта») из издробленного материала проб навески массой около 100 г прошли обработку по схеме в следующей последовательности:

- 1) разделение в тяжелой жидкости с удельным весом 2.89 г/см<sup>3</sup> на легкую и тяжелую фракции;
- 2) разделение тяжелой фракции на магнитную, электромагнитную и немагнитную составляющие;
- 3) отбор и описание зерен самородного золота из немагнитной фракции под бинокляром;
- 4) контрольный просмотр электромагнитной фракции под бинокляром;
- 5) определение массы извлеченных золотин, рассортированных по классам крупности;
- 6) последующая обработка материала навесок проб плавиковой (удалялась силикатная матрица) и азотной (растворялись сульфиды) кислотами;
- 7) отбор и описание после каждой стадии растворения из полученного остатка высвобожденных зерен самородного золота;
- 8) определение массы золотин, извлеченных после каждой стадии обработки материала проб кислотами и рассортированных по классам крупности.

Всего из пяти исследованных проб (общая масса обработанного материала 0.5 кг) было извлечено 2236 зерен самородного золота. Их масса составила 5.941 мг.

Так как растворение сульфидов проводилось в 60%-ной HNO<sub>3</sub> при комнатной температуре, а содержание серебра в высвободившихся из них золотилах не превышает 25 мас. %, то корродирующее воздействие кислоты на эти золотины было несущественным<sup>2</sup>. Это подтверждается отсутствием у высвобожденных из суль-

<sup>1</sup> Пробы предоставлены ООО «Станнолит».

<sup>2</sup> На золотины с содержанием Au более 64 мас. % слегка действует только кипящая высококонцентрированная (более 86 %) HNO<sub>3</sub> (Малышев и Румянцев, 1979).

фидов золотин следов растворения. Выявленный баланс выделений самородного золота по условиям их нахождения в издробленном материале проб можно считать вполне корректным.

### 3. Общая геологическая характеристика участка «Верный»

Региональная позиция и геологическое строение Дегдеканского месторождения детально рассмотрены в статье Б.К. Михайлова с соавторами (Михайлов и др., 2010). Месторождение располагается в пределах Аян-Юряхского антиклинария Верхояно-Чукотской складчатой области и входит в Кулино-Тенькинский золотоносный район в юго-восточной части Яно-Колымского золотоносного пояса (рис. 1). Оно приурочено к пересечению Тенькинского глубинного разлома, с которым связаны такие известные крупнообъемные месторождения золота, как Наталка и Павлик (Шахтыров, 1997; Горячев, 1998), с Дегдеканской тектонической зоной, по которой произошло заложение долины руч. Дегдекан. В структурном плане оруденение локализовано во флексуорообразном перегибе в пределах ядерной части и южного крыла Дегдеканской антиклинали.

На участке «Верный» вмещающая оруденение толща сложена терригенными морскими глубоководными отложениями пионерской свиты ранне-среднепермского возраста (Biakov, 2013). На участке она включает в себя четыре пачки преимущественно глинистых осадочных пород, представленных аргиллитами, алевритистыми аргиллитами, глинистыми алевролитами и алевролитами с редкими линзами мелкозернистых песчаников (Михайлов и др., 2010). Основная часть выявленного золотого оруденения приурочена к верхней пачке средней подсвиты. Она выделяется среди остальной толщи пионерской свиты частым переслаиванием алевролитов (глинистых алевролитов) и алевритистых аргиллитов.

По материалам разведочных работ на участке «Верный» Дегдеканского месторождения подавляющая часть запасов золота сосредоточена в крупнообъемном рудном теле, развитом вблизи Дегдеканского рудоконтролирующего разлома (см. рис. 1). Оно прослежено по простирацию на 2 км при ширине в центральной части до 700 м (Никитенко и Михалицына, 2015). Сюда включено несколько сближенных субпараллельных субширотных (угол падения 60–80° на север-северо-восток) зон смятия, рассланцевания и дробления вмещающих пород с многочисленными кварцевыми прожилками и маломощными жилами, линзами и вкрапленностью рудных минералов. По структурно-морфологическому типу Б.К. Михайлов с соавторами (Михайлов и др., 2010) относят его к приразломным зонам объемной прожилково-вкрапленной минерализации.

Рудные минералы продуктивной золото-сульфидно-кварцевой минерализации в крупнообъемном рудном теле участка «Верный» представлены мышьяковистым пиритом и арсенипиритом, а также халькопиритом, галенитом, сфалеритом и самородным золотом. Редко отмечаются блеклые руды, пирротин, халькозин, борнит, антимонит, магнетит, герсдорфит, шеелит. В единичных зернах встречаются интерметаллиды Fe-Ni-Cr состава, хромит, никелин, самородные железо, олово, медь, никель и серебро (Савва и Парфенов, 2001; Маньшин и Горячев, 2009; Никитенко и Михалицына, 2015; Khanchuk et al., 2011).

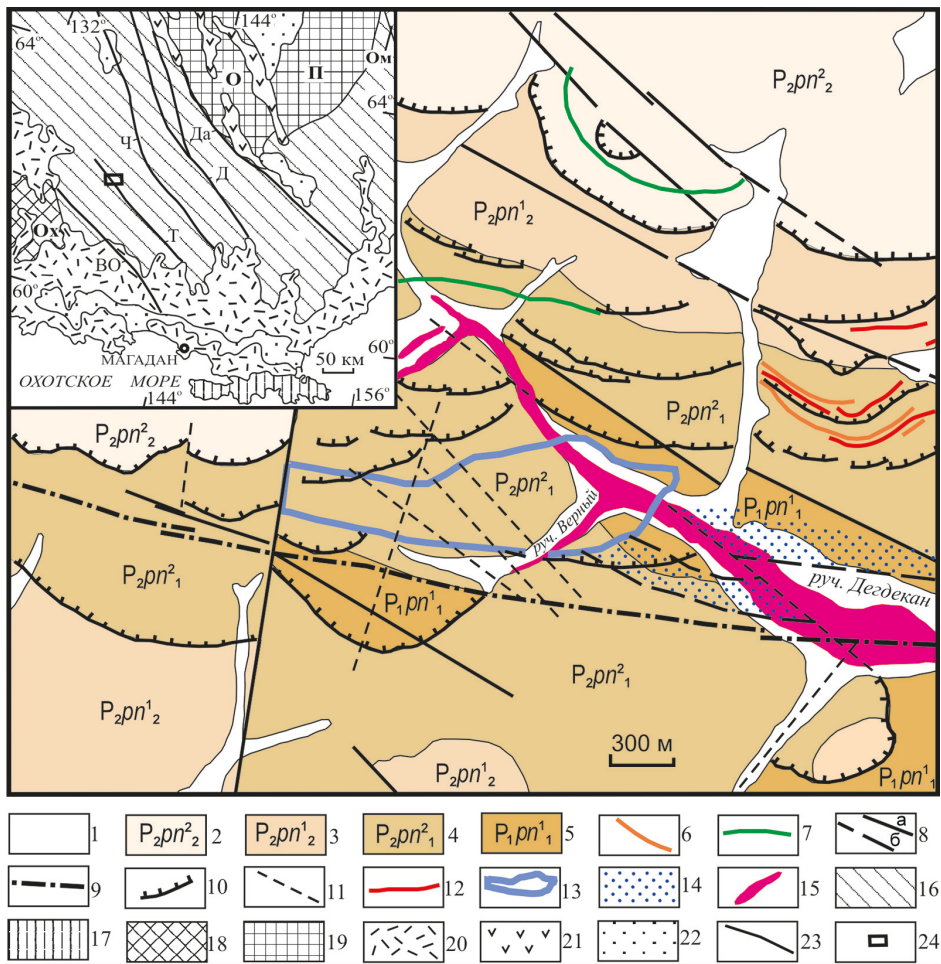


Рис. 1. Геолого-структурная схема Дегдеканского золоторудного месторождения (Михайлов и др., 2010; Цопанов, 1994)

Условные обозначения: 1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2–5 — ранне-среднепермские отложения пионерской свиты: 2, 3 — средняя подсвита: глинистые алевролиты с долей песчаной примеси нижней (2) и глинистые алевролиты верхней (3) пачек; 4, 5 — нижняя подсвита: алевролиты, глинистые алевролиты с прослоями алевролитистых аргиллитов верхней (4) и алевролитистых аргиллитов нижней (5) пачек; 6, 7 — дайки позднемерловых риолитов (6) и позднеюрских диорит-порфиров (7); 8 — установленные (а) и предполагаемые (б) северо-западные рудоподводящие разломы; 9 — Дегдеканский рудоконтролирующий разлом; 10 — взросо-надвиги; 11 — второстепенные разломы; 12 — кварцево-жильные рудные тела; 13 — крупнообъемное рудное тело участка «Верный» (зона золото-сульфидно-кварцевой прожилково-вкрапленной минерализации); 14 — область развития вкрапленной золотой минерализации; 15 — россыпи золота; 16–24 — обозначения геологических структур на врезке: 16, 17 — Верхояно-Чукотская (16) и Корьяно-Камчатская (17) складчатые области; 18 — Охотский (Ох) и Омолонский (Ом) срединные массивы; 19 — Омудевское (О) и Приколымское (П) поднятия; 20, 21 — Охотско-Чукотский (20) и Уяндино-Ясачненский (21) вулканогенные пояса; 22 — наложенные кайнозойские впадины; 23 — условные линии проекций на поверхность швов глубинных разломов (ВО — Восточно-Охотский, Т — Тенькинский, Ч — Чай-Юрьинский, Д — Дебинский, Да — Дарпир); 24 — местоположение Дегдеканского рудно-россыпного поля.

#### 4. Условия нахождения и типоморфные свойства самородного золота в рудах

К главным факторам, определяющим способность коренных источников к образованию россыпей, относят крупность золота, его минеральные ассоциации (условия нахождения) и морфологию (Желнин, 1979). Одной из проблем, обозначившейся в ходе поисково-оценочных работ на золоторудных объектах в черносланцевых толщах, является достоверность оценки содержания золота в таком типе руд. Выполненный в ходе ее решения комплекс работ по растворению в кислотах проб из руд участка «Верный» (Литвиненко и Цымбалюк, 2005) позволил выявить условия нахождения в них самородного золота, получить детальную характеристику его гранулометрического состава и морфологических особенностей.

Выделения самородного золота в рудах участка «Верный» по условиям нахождения образуют две формы, которые локализируются в силикатных минералах или в сульфидах (табл. 1). Для обогащенных участков и горизонтов характерны с различным соотношением обе формы его нахождения. В бедных горизонтах определяющей может быть одна из форм.

На долю зерен самородного золота, локализованных в силикатах, приходится в среднем около половины всего металла (см. табл. 1). Подавляющее их количество (70%) сосредоточено в кварцевых образованиях, остальные — в метасоматически проработанной породе. На отдельных участках доля золота в метасоматитах может в 2–3 раза превышать долю зерен, располагающихся в кварцевых микропрожилках. Особенно это характерно для золота весьма мелких (менее 0.25 мм) фракций, которое иногда присутствует только в породе. Основное количество самородного золота, сосредоточенного в сульфидах (преимущественно мышьяковистом пирите), связано с отдельными зернами, в которые включены как крупные, так и мелкие золотины. С глубиной количество самородного золота, локализованного в сульфидах, в целом возрастает.

Гранулометрический состав самородного золота характеризуется преобладанием классов 0.05–0.1 и 0.1–0.25 мм (см. табл. 1). В сульфидах оно, как правило, несколько меньшей крупности, чем в силикатной матрице (см. табл. 1). С глубиной намечается тенденция уменьшения среднего диаметра золотинок. Коэффициент корреляции между крупностью золота (средним диаметром) и его содержанием равен 0.2.

По морфологии среди выделений самородного золота, локализованных как в сульфидах, так и в силикатах, преобладают объемные (изометричные) образования при подчиненной роли уплощенных и вытянутых разновидностей. Объемные зерна представлены главным образом интерстициальными видами. Среди них преобладают комковидно-угловатые и комковидно-гнездовые разновидности с ямчатой и ступенчатой поверхностью (см. табл. 1). Уплощенные трещинно-прожилковые выделения самородного золота имеют вид угловатых пластинок преимущественно с мелкоямчатой и ступенчатой поверхностью.

По результатам микронзондовых исследований (г. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, Сатебах 304) основная масса зерен золота, как в силикатной матрице, так в сульфидах, характеризуется относительно низкой пробностью (751–840‰). Среди них резко преобладают золотины с пробностью 780–820‰. Это хорошо согласуется с данными других исследователей (Остапенко и др., 2004; Михайлов и др., 2010). Более высокопробные разновидности (885–931‰) имеют резко подчиненное локальное

Таблица 1. Морфометрические свойства самородного золота в рудах участка «Верный» Дедеканского месторождения

№ скважины	Условия нахождения	Доля в общем балансе, %	Фракции золота, мм					Средний диаметр, мм	Форма золоти́н				Поверхность золоти́н			
			0,025 >	0,05 -	0,05 - 0,1	0,1 - 0,25	0,25 - 0,5		комко-видная	таблитчатая	пластинчатая	палочковидная	ямчатая	мелко-ямчатая	ступенчатая	гладкая
1 (1)	В силикатах	89,9	4,4	16,5	18,4	37,5	23,2	0,143	80	14	4	2	30	34	24	2
	В сульфидях	10,1	6,2	26,4	48,2	19,3	-	0,068	88	4	4	4	4	19	69	8
	В целом	100,0	4,5	17,5	21,4	35,6	20,9	0,127	80	10	5	5	29	29	38	3
3 (1)	В силикатах	62,3	2,0	8,3	31,0	58,7	-	0,122	73	21	6	-	9	36	49	6
	В сульфидях	37,7	6,0	28,4	19,4	46,1	-	0,090	74	13	8	5	38	26	33	3
	В целом	100,0	3,5	15,9	26,6	53,9	-	0,111	71	16	10	3	24	31	40	5
5 (1)	В силикатах	29,8	3,2	14,4	27,8	38,7	16,0	0,118	74	19	4	3	62	21	14	3
	В сульфидях	70,2	1,5	8,5	27,2	39,8	23,1	0,149	54	22	24	-	46	19	35	-
	В целом	100,0	2,0	10,2	27,4	39,5	21,0	0,140	63	22	13	2	55	22	21	2
6 (44)	В силикатах	52,2	1,3	9,2	25,0	47,6	17,0	0,111	65	18	16	1	41	31	26	1
	В сульфидях	47,8	2,4	16,4	45,7	30,9	4,5	0,073	68	22	5	5	35	33	31	2
	В целом	100,0	1,6	11,5	31,5	42,3	13,0	0,092	64	21	12	4	36	32	31	1
9 (1)	В силикатах	61,2	2,3	8,6	33,0	56,0	-	0,116	92	8	-	-	27	19	54	-
	В сульфидях	38,8	2,4	16,6	31,0	49,9	-	0,100	52	24	24	-	15	24	55	6
	В целом	100,0	2,4	11,7	32,2	53,6	-	0,110	68	17	14	1	21	26	50	3
Среднее	В силикатах	57,9	2,6	11,4	27,1	47,7	11,2	0,128	73	20	6	1	39	28	31	2
	В сульфидях	42,1	3,7	19,3	34,3	37,2	5,5	0,089	67	18	12	3	30	27	40	3
	В целом	100,0	2,8	13,4	27,9	45,0	11,0	0,120	68	19	10	3	35	29	33	2

Примечание. Гранулометрический состав самородного золота подсчитан в массовых процентах, выход золоти́н с различными морфологическими свойствами — в процентах от количества описанных золоти́н. В скобках указано количество проб. Прочерк — золоти́ны с данными морфометрическими свойствами не обнаружены.

распространение. В большей степени они локализируются в силикатной матрице, по морфометрическим свойствам схожи с золотом низкой и средней пробыности.

Из элементов-примесей в составе золота методом PCA (рентгеноспектральный анализ) установлены Bi, Cu, Hg (Никитенко и Михалицына, 2015). Методом ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) в нем отмечаются повышенные концентрации Pb, а также Zn, As, Hg, Sn, Pt (Никитенко и Михалицына, 2015).

## 5. Оценка россыпеобразующих способностей золотого оруденения участка «Верный» в условиях перигляциального литогенеза

Новейший тектонический этап на Северо-Востоке России характеризуется развитием перигляциального типа литогенеза в морфоструктурах устойчивых поднятий, а также инверсионного развития. В этой обстановке рудные проявления могут быть коренными источниками аллювиальных россыпей при наличии в них выделений самородного золота, не рассеивающихся в турбулентном русловом потоке горных рек и ручьев, и высокой степени их высвобождения из рудной матрицы.

Приведенные в подразд. 4 настоящей статьи материалы по типоморфным свойствам самородного золота в прожилково-вкрапленных золото-сульфидно-кварцевых рудах участка «Верный» показали, что выделения так называемых россыпеобразующих фракций (более 0.25 (0.2) мм (Шило, 2002)) присущи как «сульфидному», так и «силикатному» золоту. Доля их в общем балансе металла резко колеблется по участку (см. табл. 1). По отдельным пробам они достигают 64.2%, по отдельным скважинам — 21.0%, а в суммарной выборке по всем исследованным пробам составляют 14.2% (рис. 2). Россыпеобразующие фракции представлены золотинами класса 0.25–0.5 мм. При этом вполне очевидно, что при массе растворявшихся проб в 50–60 г и общей массе растворенного рудного материала около 3 кг полученные показатели доли золотин крупнее 0.25 мм могут быть заниженными. Такая масса проб представительна только для выявления зерен золота менее 0.25 мм (Адельсон, 1986). Попадание в них более крупных золотин носит случайный характер.

Расчетные гистограммы крупности золота по данным с кумулятивных графиков его гранулометрического состава, построенных на вероятностнологарифмическом бланке (методика А. Н. Колмогорова по: (Колмогоров, 1941)), показали достаточно высокую вероятность обнаружения в рудах участка «Верный» золотин крупнее 0.5 мм (см. рис. 2). Это подтверждают исследования технологических проб (Маньшин и Горячев, 2009; Никитенко и Михалицына, 2015).

Для оценки степени высвобождения самородного золота в ходе физического разрушения золотоносных черносланцевых толщ были выполнены исследования по определению степени высвобождения золота различной крупности при дроблении руд данного типа. Изучение условий нахождения самородного золота в издробленном (крупность обломков 1 мм и менее) материале проб из руд участка «Верный» показало, что массовая доля зерен золота, высвободившихся из рудной матрицы, достигает по отдельным пробам 47.6%, а для зерен фракции 0.25–0.5 мм — 100.0% (табл. 2). Это позволяет предполагать относительно высокую степень высвобождения золота из руд рассматриваемого типа даже при их физическом разрушении. Она обуславливается сложным составом руд, зачастую их интенсивной тектонической раздробленностью, малым количеством кварцево-жильного материала,

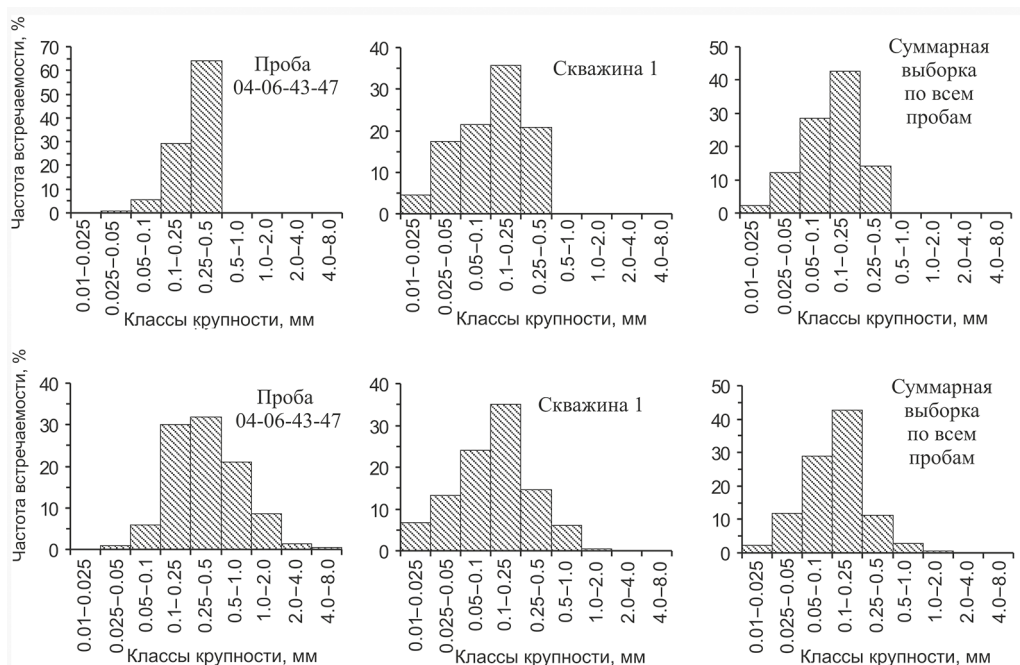


Рис. 2. Гистограммы крупности золота в рудах участка «Верный» Дегдеканского месторождения: верхние графики — по результатам исследований проб, нижние — расчетные

Таблица 2. Условия нахождения самородного золота в издробленном рудном материале с участка «Верный» Дегдеканского месторождения, %

№ пробы	Содержание золота, г/т	Не высвободившиеся зерна			Высвободившиеся зерна					
		Всего	Из них		Всего	Класс крупности, мм				
			в силикатах	в сульфидах		< 0.025	0.025-0.05	0.05-0.1	0.1-0.25	0.25-0.5
04-6-28-32	20.4	52.4	44.5	55.5	47.6	17.0	31.1	17.7	67.4	100.0
		77.1	56.4	43.6	22.9	17.1	31.0	17.9	40.9	100.0
04-6-118-123	9.7	92.6	37.9	62.1	7.4	4.4	3.1	14.2	4.7	-
		93.7	32.0	68.0	6.3	4.2	3.1	13.9	11.1	-
04-1-43-47	18.4	85.1	89.0	11.0	14.9	0.2	0.3	3.3	19.9	50.6
		99.0	85.1	14.9	1.0	0.2	0.3	3.3	15.4	66.7
04-3-136-140	5.6	83.0	50.0	50.0	17.0	0.0	0.0	11.6	31.3	-
		96.7	38.3	61.7	3.3	0.0	0.0	11.1	54.5	-
04-9-229-233	3.0	75.9	50.0	50.0	24.1	2.0	2.5	11.8	40.4	-
		94.6	53.6	46.3	5.4	1.7	2.5	12.5	28.6	-
Среднее	11.42	77.8	54.3	45.7	22.2	4.7	7.4	11.7	32.7	75.3
		92.2	53.1	46.9	7.8	4.6	7.4	11.7	30.1	83.5

Примечание. Над чертой — условия нахождения золота по массе, под чертой — по количеству знаков. По классам крупности показана доля высвободившихся зерен от всего золота данного класса крупности. Прочерк — золотины данного класса крупности не выявлены.



преобладанием интерстициальных выделений самородного золота, не связанных плотно с матрицей.

В целом можно отметить, что наличие в золотоносных черносланцевых толщах участка «Верный» россыпеобразующих фракций самородного золота, большая степень их высвобождения при физическом разрушении руд указывают на относительно высокие россыпеобразующие способности данного типа оруденения даже в условиях перигляциального литогенеза новейшего тектонического этапа.

## 6. Обсуждение результатов

Изложенные выше представления об относительно высоких россыпеобразующих способностях золотого оруденения в черносланцевых толщах участка «Верный» позволяют рассматривать его в качестве возможного коренного источника россыпей Дегдеканского рудно-россыпного поля. Это подтверждается сравнительным анализом типоморфных свойств самородного золота в рудах и россыпях и расчетом баланса золота при формировании россыпи руч. Дегдекан.

Сформированная в результате разрушения золотых проявлений Дегдеканского рудного поля россыпь руч. Дегдекан имеет протяженность около 15 км при ширине продуктивного пласта от 20 до 760 м и мощности от 0.4 до 4.0 м, локализованного преимущественно в разрушенных породах коренного основания долины. Наибольшую мощность золотоносный пласт имеет в так называемом «каньоне», представляющем собой понижение в коренном основании долины глубиной до 35 м. Он развивался по тектоническим зонам с рудной минерализацией, что указывает на тесную связь россыпи с ее коренными источниками.

По характеру распределения линейных запасов в россыпи руч. Дегдекан выделяются три участка (рис. 3). Участок в интервале разведочных линий 105–135, на котором сосредоточено 38 % запасов россыпи, тесно сопряжен с разведанным участком «Верный». Соседний с ним отрезок россыпи в интервале разведочных линий 76–105 с 37 % всех запасов связывается с прогнозируемыми рудными зонами участка «Узкий», приуроченного, как и участок «Верный», к центральной (осевой) части рудоконтролирующего Тенькинского глубинного разлома. Россыпные струи, отработанные ниже разведочной линии 76 до устья ручья и включавшие в себя 25 % всех запасов Дегдеканского россыпного месторождения, образовались в результате разрушения мелких рудных проявлений в периферийной части зоны развития Тенькинского разлома.

В россыпи преобладает мелкое (менее 1 мм) слабоокатанное золото (табл. 3) обычно комковидной или дендритовидной формы, часто находящееся в сростках с белым, прозрачным, реже окрашенным гидроксидами железа кварцем. Иногда на золотилах (в углублениях) присутствуют налеты гидроксидов железа. Количество зерен рудного облика возрастает на участках в непосредственной близости от выявленных рудных зон. Пробность золота колеблется в пределах 735–799‰ (Булгаков и др., 1987). По данным химического анализа в качестве микропримесей в нем преобладает Pb (до 1.5 мас. %), присутствуют Cu и Bi (Шило, 1963). Спектральный анализ, помимо Pb и Cu, показал наличие Mn и As (Васюнина и Шило, 1954).

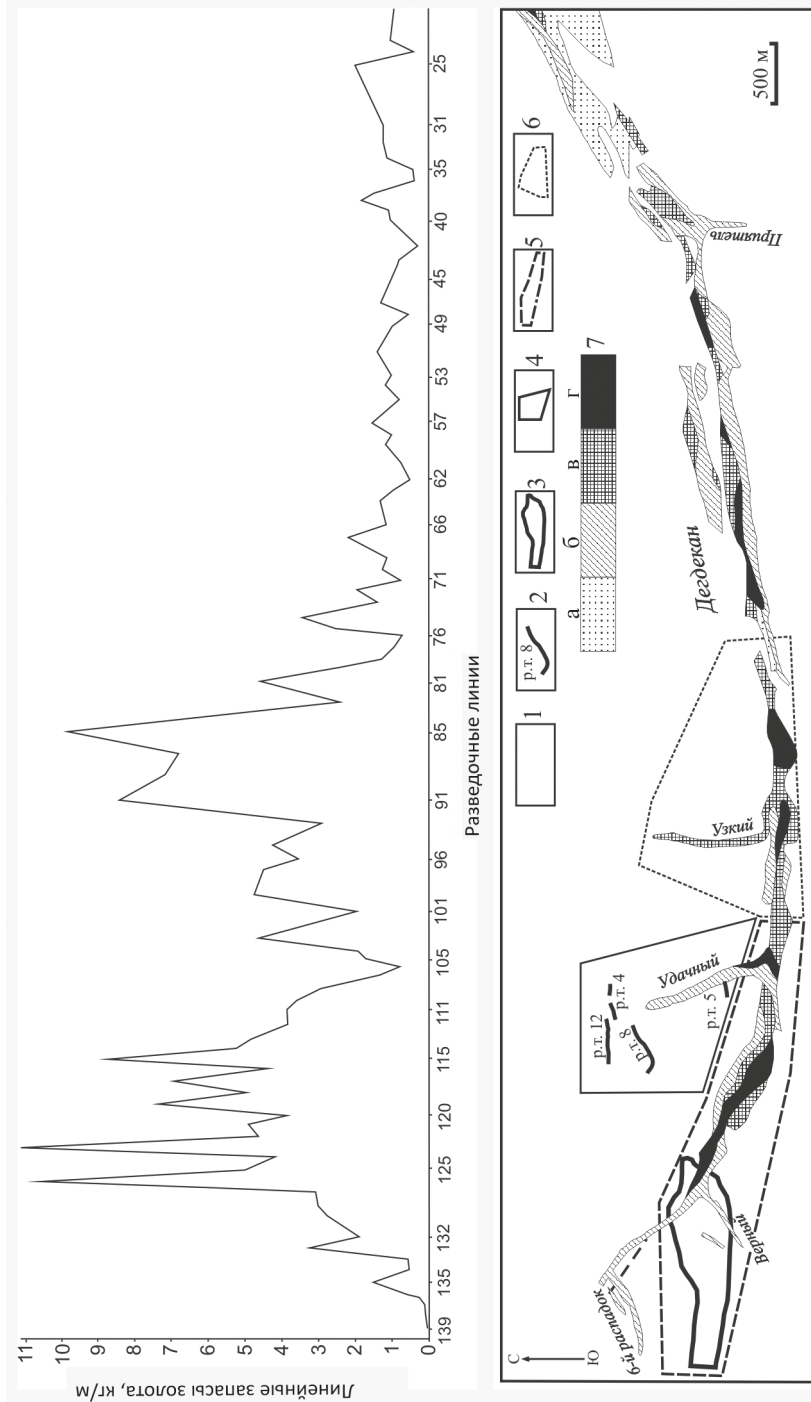


Рис. 3. Изменение линейных запасов золота вдоль россыпи руч. Дегдекан (по материалам поисково-разведочных и тематических (Булгаков и др., 1987; Михайлов и др., 2010) работ)

Условные обозначения: 1 — пермские терригенные и вулканогенно-терригенные отложения коренного основания речных долин; 2 — кварцево-жильные рудные тела и их номера; 3 — крупнообъемное рудное тело (зона прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализации); 4–6 — контуры развития кварцево-жильных рудных тел участка «Жильный» (4), рудных зон с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией участка «Верный» (5) и прогнозного участка «Узкий» (6); 7 — участки россыпей с вертикальными запасами золота <math>< 0.15</math> (а), <math>0.15–1.5</math> (б), <math>1.5–10.0</math> (в) и > 10.0 (г) г/м<sup>2</sup>.

Таблица 3. Гранулометрический состав золота россыпных месторождений Дегдеканского рудно-россыпного поля, %

Водоток	Фракции золота, мм				Средний диаметр, мм	Пробность золота, ‰	Добыто золота, кг
	< 0.5	0.5–1.0	1.0–2.0	> 2.0			
Дегдекан, р. л. 137–128	9.6	16.2	23.7	50.5	2.02	785–787	27896
Дегдекан, р. л. 127–120	26.71	28.13	21.51	23.64	0.91	778–795	
Дегдекан, р. л. 119–107	38.68	29.75	15.04	16.53	0.69	735–785	
Дегдекан, р. л. 104–95	40.06	27.44	16.72	15.77	0.68	775–778	
Дегдекан, р. л. 93–79	38.25	24.92	20.95	15.87	0.74	795–799	
Дегдекан, р. л. 76–63	29.43	34.27	23.57	12.74	0.80	731–770	
Удачный	36.8	21.70	12.50	29.00	0.80	796–800	306
Узкий	64.90	24.50	9.90	0.70	0.41	н. д.	126
Верный	59.90	28.50	6.70	4.90	0.43	792–795	164
Приятель	9.20	33.30	30.90	26.60	1.24	814	98
6-й распадок	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	793	395

*Примечание.* Для Дегдеканской россыпи указано количество золота, добытого из всего месторождения; н. д. — нет данных. Составлено по: (Булгаков и др., 1987)

В тяжелой фракции шлиховых проб преобладают оксиды и гидроксиды железа и пирит. В единичных зернах отмечаются пирротин, арсенопирит, шеелит, ильменит, магнетит. Пирит, содержание которого достигает 50 г/м<sup>3</sup>, по данным пробирного анализа, содержит до 8 г/т серебра и 2.8 г/т золота (Васюнина и Шило, 1954).

Приуроченность наиболее богатого участка россыпи руч. Дегдекан непосредственно к выявленному крупнообъемному рудному телу с прожилково-вкрапленным оруденением в черносланцевых толщах участка «Верный», низкая пробность, свинцовистая специализация и преобладание мелкого золота в россыпях, залегающих в пределах Дегдеканского рудного поля, указывают на их формирование именно за счет разрушения коренных источников рассматриваемого типа. Данный вывод подтверждает и сравнительный анализ количества золота в эродированных частях рудных тел участка «Верный» Дегдеканского месторождения и россыпях.

На участке Дегдеканской россыпи, сопряженном с участком «Верный», с учетом россыпей притоков добыто около 11 т золота. Потери при добыче, в связи с преобладанием в россыпях мелкого золота, могли достигать 20–30 %. С учетом потерь запасы в той или иной степени учитывающихся при разведке и отработке россыпей фракций металла крупнее 0,1 мм<sup>3</sup> в россыпных месторождениях ручьев, развивающихся в пределах участка «Верный», составляли, очевидно, около 14 т.

Общая вертикальная продуктивность рудных колонн на участке «Верный», согласно подсчету запасов золота по категориям C<sub>1</sub> и C<sub>2</sub> в выявленных рудных телах (Куз-

<sup>3</sup> О наличии в россыпях Дегдеканского рудного поля золота фракций менее 0.1 мм и его количестве нет данных. В приводимом Н. А. Шило (Шило, 1963) гранулометрическом составе золота россыпи руч. Дегдекан фракция золота менее 0.25 мм (составляет 12.0 %), вероятнее всего, была представлена зернами 0.1–0.25 мм.

нецов и др., 2015), равна 46 т на 100 м. Наличие гипергенных преобразований в россыпных золотилах указывает на вскрытие рудных тел в период формирования региональной поверхности выравнивания эпохи планации рельефа. Если предположить, что образование россыпей происходило в новейший тектонический этап, то, судя по величине эрозионного «выреза» в долине руч. Дегдекан на участке «Верный», среднее значение эрозионного среза рудных колонн за этот период составило не менее 250 м.

Исходя из отмеченной выше вертикальной продуктивности рудных колонн и средней величины их эрозионного среза за новейший тектонический этап, общая масса золота в сродированных частях рудных тел участка «Верный» за этот период могла составлять около 120 т. При установленном среднем (по суммарной выборке) количестве в рудах золота фракций 0.1–0.25 мм и более 0.25 мм, соответственно 43 и 14 % (см. рис. 2), и степени высвобождения зерен этих фракций при механическом дроблении руд в среднем соответственно 33 и 75 % (см. табл. 2) в россыпи должно было поступить порядка 30 т зерен золота крупнее 0.1 мм. То есть россыпные месторождения верхнего течения руч. Дегдекан вполне могли быть образованы за счет прожилково-вкрапленного оруденения в черносланцевых толщах участка «Верный» даже в условиях физического выветривания руд.

С позиции же развиваемой автором концепции о том, что аллювиальные пластовые россыпи в современных речных долинах Северо-Востока России представляют собой в различной степени преобразованные иллювиально- и аллювиально-остаточные золотоносные пласты эпохи планации, формировавшиеся на протяжении длительного времени (десятков миллионов лет) в постоянно и прогрессивно развивающихся зонах окисления (Литвиненко, 2002), в которых могли иметь место цементация и укрупнение гипогенных зерен золота (Нестеров, 1985), высокая продуктивность рассматриваемого типа коренных источников не вызывает сомнений. Руды с такими характеристиками являются наиболее благоприятными для перегруппировки и концентрации золота в зоне окисления (Mann, 1984; Wilson, 1984; Нестеров, 1985; и др.).

## 7. Заключение

Прожилково-вкрапленное золото-сульфидно-кварцевое оруденение черносланцевых углеродисто-терригенных толщ характеризуется относительно высокими россыпеобразующими способностями и огромными возможностями даже в условиях перигляциального литогенеза. При колоссальных объемах рудного материала в эродированных частях таких коренных источников они могли играть существенную роль в формировании россыпных месторождений на Северо-Востоке России. Особенно это относится к крупным и суперкрупным россыпям. Залегание крупных и суперкрупных россыпных месторождений на участках речных долин, приуроченных к шовным зонам региональных глубинных разломов (Литвиненко, 2005; Goryachev et al., 2020), позволяет предполагать, что продуцирующие в них золото крупнообъемные рудные тела могли располагаться непосредственно в пределах днщ речных долин.

Признаками участия в формировании россыпей (или их участков) рудных тел с прожилково-вкрапленным золото-сульфидно-кварцевым оруденением в углеродисто-терригенных толщах могут служить: выдержанный характер богатых струй в их строении; повышенное содержание золота мелких фракций, умеренно низко-

пробный его состав и широкое присутствие комковидных зерен; наличие выделений золота явно гипергенного генезиса и высокое содержание золотин в сростках и с пленками гидроксидов железа; повышенный выход тяжелой фракции, в которой преобладают образования пирита или гидроксида железа.

## Литература

- Адельсон, И. М. (1986). Способы расчета рационального объема пробы при разведке золотоносных россыпей. *Колыма*, 10, 22–26.
- Булгаков, В. С., Танаева, И. В., Кравчук, А. Н. (1987). *Карта золотоносности масштаба 1:100 000 Кулино-Тенькинской группы листов. Магаданская область*. [геологический отчет] Магаданский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО», Магадан.
- Васюнина, Е. Д. и Шило, Н. А. (1954). *Сводное описание россыпей золота Кулино-Тенькинской (Юго-Западной) золотоносной зоны* [геологический отчет]. Магадан: Магаданский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО».
- Горячев, Н. А. (1998). *Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии*. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН.
- Желнин, С. Г. (1979). *Условия образования аллювиальных россыпей золота на Северо-Востоке Азии*. М.: Наука.
- Колмогоров, А. Н. (1941). О логарифмически нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. *ДАН СССР*, XXXI (2), 99–101.
- Кузнецов, Д. В., Токарев, В. Н., Никитенко, Е. М. (2015). *ТЭО постоянных кондиций и подсчет запасов по Дегдеканскому рудному полю по состоянию на 01.01.2015 г. (Отчет о результатах разведочных работ за 2006–2014 гг.)* [геологический отчет]. Магадан: Магаданский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО».
- Литвиненко, И. С. (2002). *Россыпные месторождения золота Омчакского узла*. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН.
- Литвиненко, И. С. (2005). Геолого-геоморфологические факторы формирования суперкрупных россыпных месторождений золота на Северо-Востоке России. В: *Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения: XIII Международное совещание по геологии россыпей и месторождений кор выветривания: тезисы докладов (Пермь, 22–26 августа 2005 г.)*. Пермь: Пермский ун-т, 137–139.
- Литвиненко, И. С. и Цымбалюк, Н. В. (2005). О достоверности оценки крупнообъемных кварцево-сульфидных месторождений золота в углеродисто-терригенных толщах на Северо-Востоке России. *Руды и металлы*, 2, 57–63.
- Мальшев, В. М. и Румянцев, Д. В. (1979). *Золото*. М.: Металлургия.
- Маньшин, А. П. и Горячев, Н. А. (2009). Геологическое строение участка «Верный» золоторудного месторождения Дегдекан. В: *Чтения памяти академика К. В. Симакова: тезисы докладов Всероссийской научной конференции (Магадан, 25–27 ноября 2009 г.)*. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 125–126.
- Михайлов, Б. К., Стружков, С. Ф., Наталенко, М. В., Цымбалюк, Н. В. (2010). Многофакторная модель крупнообъемного золоторудного месторождения Дегдекан (Магаданская область). *Отчетственная геология*, 2, 20–31.
- Нестеров, Н. В. (1985). *Гипергенное обогащение золоторудных месторождений Северо-Востока Азии*. Новосибирск: Наука.
- Никитенко, Е. М. и Михалицына, Т. И. (2015). Минерально-сырьевой потенциал месторождения Дегдекан (Северо-Восток России). В: *Чтения памяти академика К. В. Симакова: материалы докладов Всероссийской научной конференции (Магадан, 24–25 ноября 2015 г.)*. Магадан: Типография, 113–115.
- Остапенко, Л. А., Стружков, С. Ф., Рыжов, О. Б., Цымбалюк, Н. В., Евтушенко, М. Б. (2004). Оценка достоверности опробования руд на крупнообъемных золоторудных месторождениях в терригенных толщах на примере Дегдеканского месторождения. *Руды и металлы*, 2, 42–55.
- Плутешко, В. П., Яблокова, С. В., Яновский, В. М. (1988). Наталкинское месторождение. В: *Геология золоторудных месторождений Востока СССР*. М.: ЦНИГРИ, 126–140.

- Савва, Н. Е. и Парфенов, М. И. (2001). О рассеянном Co-Ni оруденении в черносланцевых толщах зоны Тенькинского глубинного разлома. В: *Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий: в 3 т. Т.2. Металлогения: материалы XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО «Региональная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Ю. А. Билибина» (Магадан 16–18 мая 2001 г.)*. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 78–81.
- Цопанов, О. Х., ред. (1994). *Металлогеническая карта Магаданской области и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 1 500 000*. Магадан: Северо-Восточный комитет по геологии и использованию недр.
- Шахтыров, В. Г. (1997). Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность. В: *Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: тезисы докладов IX сессии Северо-Восточного отделения ВМО (Магадан, 26–28 февраля 1997 г.)*. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 62–64.
- Шило, Н. А. (1963). Некоторые черты вещественного состава аллювиальных россыпей Яно-Колымского золотоносного пояса. В: *Формирование рельефа, рыхлых отложений и россытей Северо-Востока СССР*. Магадан: СВКНИИ СО АН СССР, 87–105. (Труды Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института... / Сиб. отд-ние Акад. наук СССР).
- Шило, Н. А. (2002). *Учение о россыпях: теория россыпеобразующих рудных формаций и россытей*. 2-е изд., перераб. и доп. Владивосток: Дальнаука.
- Aristov, V. V., Grigor'yeva, A. V., Savchuk, Yu. S., Sidorova, N. V., Sidorov, V. A. (2021). Forms of gold and some typomorphic characteristics of native gold of the Pavlik orogenic deposit (Magadan oblast). *Geology of Ore Deposits*, 63, 1–33.
- Biakov, A. S. (2013). A New Permian Bivalve Zonal Scale of Northeastern Asia. Article 2: Correlation Problems. *Russian Journal of Pacific Geology*, 7 (1), 1–15.
- Goryachev, N. A., Yakubchuk, A. S., Litvinenko, I. S., Lozhkin, A. V., Pruss, Yu. V., Smirnov, V. N. (2020). Giant placers of the Upper Kolyma gold fields, Yana-Kolyma province, Russian Northeast. *Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications*, 23, 797–821.
- Khanchuk, A. I., Plyusnina, L. P., Nikitenko, E. M., Kuzmina, T. V., Barinov, N. N. (2011). The noble metal distribution in the black shales of the Degdekan gold deposit in Northeast Russia. *Russian Journal of Pacific Geology*, 5 (2), 89–96.
- Mann, A. W. (1984). Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia. *Economic Geology*, 79 (1), 38–49.
- Wilson, A. F. (1984). Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils — a review and some new observations. *Australian Journal of Earth Sciences*, 31, 303–316.

Статья поступила в редакцию 5 декабря 2022 г.  
Статья рекомендована к печати 11 августа 2023 г.

Контактная информация:

Литвиненко Иван Степанович — litvinenko@neisri.ru

## Placer-forming properties of gold mineralization of the “Verny” site of the Degdekan deposits in the black-shale strata (Magadan Oblast)

I. S. Litvinenko

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute  
named after N. A. Shilo of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,  
16, ul. Portovaya, Magadan, 685000, Russian Federation

**For citation:** Litvinenko, I. S. (2023). Placer-forming properties of gold mineralization of the “Verny” site of the Degdekan deposits in the black-shale strata (Magadan Oblast). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 68 (3), 581–595. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.308> (In Russian)

The placer-forming properties of vein-disseminated gold-sulfide-quartz mineralization in carbonaceous-terrigenous rocks of the North-East of Russia are considered on the example of the “Verny” site of the Degdekanskoe deposit, localized in the Permian black shale strata of the Ayan-Yuryakh antiktinorium of the Verkhoyansk-Chukotka folded region. According to the results of studies of the conditions for the presence of native gold in sample material crushed to 1 mm, it was established that the degree of release grains of gold in fractions of 0.1–0.25 and more than 0.25 mm from this type of ores with the given parameters of their physical destruction averages 33 and 75 %, respectively. This determines the relatively high placer-forming capacity of this type of primary sources. Calculation of the balance of native gold during the formation of a segment of placer Degdekan Creek, closely associated with the ore zones of the Verny site, showed its enormous placer-forming capabilities even under conditions of periglacial lithogenesis.

*Keywords:* North-East of Russia, black shale strata, gold, mineralization, placers.

## References

- Adelson, I. M. (1986). Methods for calculating the rational volume of a sample in the exploration of gold placers. *Kolyma*, 10, 22–26. (In Russian)
- Aristov, V. V., Grigor'yeva, A. V., Savchuk, Yu. S., Sidorova, N. V., Sidorov, V. A. (2021). Forms of gold and some typomorphic characteristics of native gold of the Pavlik orogenic deposit (Magadan Oblast). *Geology of Ore Deposits*, 63, 1–33.
- Biakov, A. S. (2013). A New Permian Bivalve Zonal Scale of Northeastern Asia. Article 2: Correlation Problems. *Russian Journal of Pacific Geology*, 7 (1), 1–15.
- Bulgakov, V. S., Tanaeva, I. V., Kravchuk, A. N. (1987). *Map of gold-bearing scale 1: 100 000 of the Kulino-Tenkinskaya group of sheets. Magadan Region.* [geological report], Magadanskii filial FBU "TFGI po DFO" Publ. (In Russian)
- Goryachev, N. A. (1998). *Geology of mesozoic gold quartz vein belts in Northeastern Asia.* Magadan: NEISRI FEB RAS Publ. (In Russian)
- Goryachev, N. A., Yakubchuk, A. S., Litvinenko, I. S., Lozhkin, A. V., Pruss, Yu. V., Smirnov, V. N. (2020). Giant placers of the Upper Kolyma gold fields, Yana-Kolyma province, Russian Northeast. *Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications*, 23, 797–821.
- Khanchuk, A. I., Plyusnina, L. P., Nikitenko, E. M., Kuzmina, T. V., Barinov, N. N. (2011). The noble metal distribution in the black shales of the Degdekan gold deposit in Northeast Russia. *Russian Journal of Pacific Geology*, 5 (2), 89–96.
- Kolmogorov, A. N. (1941). On the logarithmically normal law of particle size distribution during crushing. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, XXXI (2), 99–101. (In Russian)
- Kuznetsov, D. V., Tokarev, V. N., Nikitenko, E. M. (2015). *Feasibility study of permanent conditions and calculation of reserves for the Degdekan ore field as of 01.01.2015 (Report on the results of exploration work for 2006–2014).* [geological report] Magadanskii filial FBU "TFGI po DFO" Publ. (In Russian)
- Litvinenko, I. S. (2002). *Placer gold deposits of the Omchak district.* Magadan: NEISRI FEB RAS Publ. (In Russian)
- Litvinenko, I. S. (2005). Geological and geomorphological factors of formation of super-large placer gold deposits in Northeast Russia. In: *Placers and deposits of weathering crusts: facts, problems, solutions. Abstracts of the reports of the XIII International Conference “Placers and deposits of weathering crusts: facts, problems, solutions” (Perm, August 22–26, 2005).* Perm: Perm University Publ., 137–139. (In Russian)
- Litvinenko, I. S. and Tsymbalyuk, N. V. (2005). On the reliability of the assessment of large-volume quartz-sulfide gold deposits in carbonaceous-terrigenous strata in Northeast Russia. *Ores and Metals*, 2, 57–63. (In Russian)
- Malyshev, V. M. and Rumyantsev, D. V. (1979). *Gold.* Moscow: Metallurgy Publ. (In Russian)
- Mann, A. W. (1984). Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia. *Economic Geology*, 79 (1), 38–49.
- Manshin, A. P., Goryachev, N. A. (2009). Geological structure of the “Verny” site of the Degdekan gold deposit. In: *Conference Dedicated to the Memory of Academician K. V. Simakov: Conference Proceedings*

- (Magadan, November 25–27, 2009). Magadan: North-East Scientific Center FEB RAS Publ., 125–126. (In Russian)
- Mikhailov, B. K., Struzhkov, S. F., Natalenko, M. V., Tsybalyuk, N. V. (2010). Multi-factorial model of the large-volume Degdekan gold deposit (Magadan Region). *Otechestvennaia Geologiya*, 2, 20–31. (In Russian)
- Nesterov, N. V. (1985). *Hypergene enrichment of gold deposits in Northeast of Asia*. Novosibirsk: Science Publ. (In Russian)
- Nikitenko, E. M. and Mikhailitsyna, T. I. (2015). Mineral resource potential Degdekan deposits (North-East Russia). In: *Conference Dedicated to the Memory of Academician K. V. Simakov: Conference Proceedings (Magadan, November 24–25, 2015)*. Magadan: Typography LLC Publ., 113–115. (In Russian)
- Ostapenko, L. A., Struzhkov, S. F., Ryzhov, O. B., Tsybalyuk, N. V., Evtushenko, M. B. (2004). Assessment of reliability of ore sampling for large-volume gold deposits in the terrigenous sequences by the example of the Degdekan deposit. *Ores and Metals*, 2, 42–55. (In Russian)
- Plutushko, V. P., Yablokova, S. V., Yanovskii, V. M. (1988). Natalka deposit. In: *Geology of Gold Deposits of East USSR*. Moscow: TsNIGRI Publ., 126–140. (In Russian)
- Savva, N. E., Parfenov, M. I. (2001). On disseminated Co-Ni mineralization in the black shale strata of the Ten'ka deep fault zone. In: *Problems of geology and metallogeny of Northeastern Asia at the boundary of millennia: is. 3. Vol. 2. Metallogeny: Proceedings of XI session of North-East Branch of Mineralogical Society of Russia. Regional Scientific-Practical Conference devoted to the 100 birthday of Yu. A. Bilibin (Magadan, May 16–18, 2001)*. Magadan: NEISRI FEB RAS Publ., 78–81. (In Russian)
- Shakhtyrov, V. G. (1997). Ten'kinskii deep-seated fault: tectonic position, infrastructure, and ore potential. In: *The geological structure, magmatism and minerals of Northeastern Asia: Abstracts of 9<sup>th</sup> session of North-East Branch of Mineralogical Society of Russia. Magadan, February 26–28, 1997*. Magadan: NEISRI FEB RAS Publ., 62–64. (In Russian)
- Shilo, N. A. (1963). Some composition peculiarities of alluvial placers in Yano-Kolymian gold-bearing belt. In: *Formation of relief, loose sediments and placer-rashes of Northeast of USSR*. Magadan: NEISRI SB AS USSR Publ., 87–105. (Proceedings of the North-Eastern Integrated Research Institute... / Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR). (In Russian)
- Shilo, N. A. (2002). *Teaching on placers deposits: The placer-forming ore associations and generation theory. 2<sup>nd</sup> ed., recasted and supplemented*. Vladivostok: Dal'nauka Publ. (In Russian)
- Tsofanov, O. Kh., ed. (1994). *Metallogenic map of the Magadan region and adjacent territories. Scale 1: 1 500 000*. Magadan: North-Eastern Committee for Geology and Subsoil Use. (In Russian)
- Vasyunina, E. D. and Shilo, N. A. (1954). *Summary description of gold placers in the Kulino-Tenkinskaya (South-Western) gold-bearing zone*. [geological report] Magadan: Magadanskii filial FBU "TFGI po DFO" Publ. (In Russian)
- Wilson, A. F. (1984). Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils — a review and some new observations. *Australian Journal of Earth Sciences*, 31, 303–316.
- Zhelmin, S. G. (1979). *Formation of Alluvial Gold Placers in Northeastern Asia*. Moscow: Nauka Publ. (In Russian)

Received: December 5, 2022

Accepted: August 11, 2023

#### Author's information:

Ivan S. Litvinenko — litvinenko@neisri.ru