

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-273-281

Метод определения источника россыпного золота**Владимирцева О. В.**Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, Россия

Аннотация: Вещественные характеристики золота россыпных объектов и геолого-геоморфологические особенности россыпесодержащих водотоков позволяют судить о типе источника, сформировавшего россыпь. Исследуемый район (среднее течение реки Адыча, Верхоянский район, Якутия) характеризуется сильно развитой россыпной золотоносностью как древних террасовых отложений, так и водотоков низких порядков. Значительная золотоносность водотоков низких порядков при единичных месторождениях золота предполагает наличие еще не известных коренных скоплений золота. Определение типа источников россыпей молодых водотоков (I и II порядков) позволяет строить прогнозно-поисковые модели как для потенциально россыпных, так и для рудных объектов. Цель исследования заключается в составлении логико-информационного алгоритма, который на основе наиболее значимых вещественных и геолого-геоморфологических факторов позволит не только определить тип источника россыпи, но и вероятность его локализации и продолжающегося сноса металла. Результатом исследования стала программа (язык программирования Python), характеризующая тип источника россыпи на основе окатанности золотин, наличия сростков золота с другими минералами и представленности тяжелой фракции. Оценка вероятности локализации источника россыпи основывается на геолого-геоморфологических факторах: порядок водотока, тип россыпи, пространственная связь с террасами древних эрозионных уровней. При исследовании известных россыпных объектов на созданной программе выявлены россыпи с предположительно коренным источником и источником в виде промежуточного коллектора. Также составлена карта экзогенной золотоносности с элементами прогноза: площадями, перспективными на выявление коренных скоплений золота (области распространения водотоков низких порядков с рудным источником) и водотоками низких порядков, перспективными для выявления россыпных объектов (выделены по принципу аналогии по геолого-геоморфологической позиции с известными водотоками с источником в виде промежуточного коллектора).

Ключевые слова: золото, россыпи, Адыча, прогноз, алгоритм, окатанность золота.

Для цитирования: Владимирцева О. В. Метод определения источника россыпного золота. *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):273-281. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-273-281.

Method for Revealing Placer Gold Source**O. V. Vladimirtseva**

Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia

Abstract: Material characteristics of placer gold and geological and geomorphological features of placer-containing watercourses allow revealing the type of source that formed the placer. The studied area (the middle reach of the Adycha River, Verkhoyansk District, Yakutia) is characterized by highly developed placer gold mineralization both in ancient terrace sediments and high-order watercourses. The significant placer gold mineralization in the high-order watercourses, at very limited number of known bedrock gold deposits suggests the presence of not yet discovered bedrock gold mineralization. Revealing the type of sources of placer gold in young high-order watercourses allows to create prognostic and prospecting models for both potential placer and primary (vein) ore occurrences. The purpose of the study is to compile a logical-information algorithm, which, based on the most significant material and geological-geomorphological factors, will enable revealing the type of placer gold source and the possibility of its location discovery and probability of gold transportation continuation from the source. The study result is presented by a program (the Python programming language) that characterizes the type of placer gold source based on gold grain rounding degree, the presence of gold intergrowths with other minerals and the presence of heavy fraction. Assessment of the possibility of placer gold source location determination is based on geological and geomorphological factors: watercourse order, the type of placer, and spatial association with terraces of ancient erosion levels. The study of well-known gold placers using the created program allowed revealing gold placers



with supposedly primary gold source and other ones with the source in the form of a natural intermediate gold concentrator. A map of exogenous gold mineralization with forecast elements was also created, presenting areas promising for revealing primary gold mineralization (areas of presence of high-order watercourses with gold mineralization source) and areas of high-order watercourses promising for discovering gold placers (identified by analogy (in geological and geomorphological position) with watercourses with the known source in the form of natural intermediate gold concentrator).

Keywords: gold, placers, Adycha, forecast, algorithm, gold grain rounding degree.

For citation: Vladimirtseva O. V. Method for revealing placer gold source. *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):273-281. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-273-281.

Введение

Определение источников россыпей – важная практическая и научная задача, которая открывает возможность прогнозирования месторождений и прироста ресурсов как коренного, так и россыпного золота [1]. Для диагностики вероятного источника россыпи следует руководствоваться, прежде всего, данными, указывающими на условия ее формирования.

Цель работы заключается в составлении интерактивной логико-информационной программы, позволяющей определить тип источника россыпей низких порядков (согласно классификации Н.А. Ржаницына, 1952 г.) района среднего течения реки Адыча (Верхоянский район, Якутия).

Задачи:

- исследование грануломорфологических особенностей золотин водотоков низких порядков района;

- выявление критериев среди геолого-геоморфологических и вещественных факторов, наиболее влияющих на предполагаемый тип источника россыпного объекта;

- составление логико-информационного алгоритма, определяющего вероятный тип источника россыпи, вероятность продолжающегося сноса, а также возможность определения местонахождения источника.

В Адыча-Тарынской минерагенической зоне, занимающей среднюю часть долины р. Адыча, на государственном балансе числится порядка 40 россыпных объектов. Суммарные

запасы россыпного золота по категориям C_1+C_2 составляют более 30 т. По геоморфологической позиции россыпи разделяются на две группы: террасовые, приуроченные к отложениям террасы III эрозионного уровня р. Адыча (80 % запасов), и россыпи водотоков 1–4-го порядков. Прирост ресурсов россыпного золота в исследуемом районе возможен в том числе и за счет выявления новых россыпей водотоков низких порядков.

Источником золотых россыпей могут выступать как рудные скопления металла, так и его промежуточные аккумуляции. В качестве рудного источника россыпных образований в исследуемом районе выступают рудные месторождения, рудопроявления и пункты минерализации двух рудных формаций: золото-кварц-малосульфидной и золотосурьмяной. В качестве промежуточного коллектора могут выступать отложения зон окисления; древние россыпные образования; коры выветривания. В районе среднего течения реки Адыча на сегодняшний день не было установлено россыпей с источниками в виде промежуточных коллекторов. Однако наличие россыпей с хорошо окатанным золотом при фактически полном отсутствии тяжелой фракции подразумевает возможность наличия промежуточных аккумуляций, продуктивных на россыпное золото [1, 2, 4–6, 8].

Россыпи с коренным источником

В среднем течении реки Адыча россыпи, для которых предполагаются коренные источники, подразделяются на русловые – водотоков 1–4-го порядков, террасовые – россыпи

ранних циклов развития речных долин и элювиально-делювиальные. В исследуемом районе известно два мелких, на данный момент не освоенных месторождения (Лазо и Соревнование) и 38 рудопоявлений золота. Известно, что золото, поступившее в россыпь непосредственно из коренного источника, обладает характерными особенностями, определяемыми рудным объектом.

1. Слабая степень окатанности золотин, которая обусловлена близким расположением россыпи от коренного источника, как правило до 10 км. Часто такие золотины называют «субрудными».

2. Наличие сростков золота с минералами. Безусловно, минеральный состав руд на каждом коренном объекте уникален. Для большинства месторождений золота характерно наличие минералов-спутников, с которыми золото зачастую образует сростки (например, галенит, пирит, сфалерит и пр. сульфиды; кварц).

3. Тяжелая шлиховая фракция в таких россыпях представлена минералами, присутствующими в коренном источнике (галенит, магнетит, пирит и пр.).

Россыпи с источником в виде промежуточного коллектора

В качестве промежуточного коллектора в районе среднего течения реки Адыча могут выступать отложения древних террас [10]. Золото, поступившее в россыпь из промежуточного коллектора, обладает характерными особенностями.

1. Золото имеет среднюю и высокую степень окатанности в силу многоэтапности и длительности процесса переноса материала. Отсутствуют «субрудное» золото.

2. Отсутствуют сростки золота с минералами на поверхности золотин. Контрастные физико-химические условия формирования таких россыпей обеспечивают разрушение минералов, находящихся в сростании с золотом. Однако микровключения минералов могут сохраниться внутри золотин (галенит, пирит, магнетит, кварц и пр.).

3. Существенно разная пробность золота и его различный химический состав также могут указывать на поступление металла из промежуточного коллектора, источника комбинированного типа, нескольких источников, с различных эрозионных уровней рудного источника.

Примечательно, что минералы тяжелой фракции могут быть представлены весьма ограниченно, а могут и вовсе отсутствовать, что обусловлено неоднократным переотложением рыхлого материала, в процессе которого минералы, обладающие плотностью ниже, чем у золота, выносились.

Признаки, позволяющие отнести россыпь россыпи водотоков водотоков низких порядков низких порядков в районе среднего течения реки Адыча к тому или иному типу источника, можно разделить на две группы: вещественные и геолого-геоморфологические. Разработан логико-информационный алгоритм систематики россыпного золота относительно типа источника золотин.

Вещественные особенности россыпного золота. Анализ вещественных признаков позволяет не только определить вероятный тип источника, но и сделать предположения о количестве источников. Несмотря на обилие вещественных характеристик золотин (класс крупности, окатанность, пробность, уплощенность, наличие сростков золота с другими минералами, равномерность распределения пробности и пр. [3, 9]), наиболее значимыми критериями для определения типа источника россыпного золота являются следующие характеристики: окатанность золота, наличие сростков золота с другими минералами, наличие или отсутствие тяжелой фракции.

Окатанность золотин. Степень окатанности золотин является наиболее значимым вещественным признаком для различных по типам источника россыпей водотоков низких порядков среднего течения р. Адыча.

Таблица 1

Анализ окатанности золотин
Analysis of gold grain rounding degree

Степень окатанности золотин по пятибалльной полуколичественной шкале					Наиболее вероятный тип источника россыпи
1	2	3	4	5	
Степень окатанности золотин по трехбалльной полуколичественной шкале					
1	2	3			
Наиболее частая степень окатанности	< 5 %	< 5 %	Наиболее частая степень окатанности		Рудный
	> 5 %	< 5 %			Несколько источников различного типа
	< 5 %	> 5 %	Промежуточный коллектор		
	> 5 %	< 5 %		Несколько источников различного типа	
> 5 %	> 5 %	Наиболее частая степень окатанности	Рудный		
< 5 %	Наиболее частая степень окатанности		Промежуточный коллектор		
> 5 %			Комбинированный / несколько		
< 5 %	< 5 %		Вероятный тип источника не определим		

Для определения степени окатанности золотин россыпи необходимо определить по полуколичественной пятибалльной шкале окатанность каждой золотины [9]. Затем с целью установления равномерности распределения окатанности золотин следует перевести полученные результаты в трехбалльную полуколичественную шкалу. Далее необходимо оценить распространенность каждого класса окатанности. Для этого рассчитывается процентное соотношение каждого класса в выборке. Затем полученные данные сравниваются между собой по предложенной таблице (Табл. 1), и делается предварительный вывод о типе источника россыпи.

Перевод данных об окатанности из пятибалльной в трехбалльную полуколичественную шкалу обусловлен двумя причинами. Первая – фактически исключается человеческий фактор при оценке степени окатанности золота. Даже если исследователь не смог различить окатанность «4» и окатанность «5» по пятибалльной шкале, в трехбалльной шкале значение окатанности будет соответствовать

«3» – хорошо окатанное золото. Вторая причина – простота пересчета распределения окатанности золотин в выборке исходя из трех возможных значений и дальнейшего их сравнения между собой.

Наличие сростков золота с другими минералами. В зависимости от ожидаемой рудной формации предполагаемого коренного источника определяется вероятный набор минералов, которые могут находиться в сростании с золотом. Для района среднего течения р. Адыча это пирит, галенит и пр. сульфиды, кварц. Очевидно, даже в условиях гипергенеза микровключения минералов могут сохраниться внутри золотины, однако на поверхности золотины эти минералы разрушаются. Безусловно, далеко не все золотины россыпей коренных источников сохранили сростки с другими минералами. Чем больше выборка золотин, тем достовернее результат. Для оценки данного параметра необходимо рассчитать процентное количество золотин со сростками с минералами. Выделяется два вероятных результата: сростки с минералами составляют менее 5 % и сростки с минералами составляют

более 5 %. В случае если по результатам анализа окатанности золота предполагаемый источник – рудное скопление металла, отсутствие сростков золота с другими минералами не является опровержением полученного вывода, а лишь отражает либо непредставительность выборки (в случае если было исследовано менее 50 золотин), либо особенности самого источника. Если по результатам анализа окатанности золота предполагаемый источник – промежуточный коллектор, наличие сростков золота с другими минералами (более 5 %) либо ставит под сомнение выявленный тип источника, либо предполагает наличие дополнительного источника россыпи.

Присутствие тяжелой фракции. Наличие или отсутствие тяжелой фракции в россыпи главным образом зависит от распространенности минералов тяжелой фракции в рудах и породах коренного источника. Однако для россыпей с источником в виде промежуточного коллектора зачастую характерна незначительная тяжелая фракция, что обусловлено неоднократным переотложением материала.

Качественно-количественная оценка данного параметра весьма затруднительна, поэтому выбор будет представлен двумя вариантами: минералы тяжелой фракции отсутствуют и минералы тяжелой фракции представлены явно. Для Адыча-Тарынской минералогической зоны характерно распространение двух золоторудных формаций: золото-кварц-малосульфидной (рудные минералы: арсенопирит, халькопирит, галенит, шеелит, касситерит, минералы висмута, рутил) и золото-сурьмяной (минеральный состав руд месторождения Сентачан: антимонит, кварц, пирит, арсенопирит, самородная сурьма, сфалерит, магнетит, лимонит, аргентит и пр.).

Геолого-геоморфологические характеристики россыпных объектов. Данная группа признаков позволяет судить о вероятности обнаружения предполагаемого источника россыпи.

Порядок водотока. Чем ниже порядок водотока, включающего в себя россыпь, тем выше достоверность суждений о природе его

источника. Так, материал россыпей водотоков первого порядка проделал наименьший путь от источника до своего нынешнего положения. С повышением порядка водотока возрастает количество путей вероятного перемещения материала и увеличивается площадь локализации возможного источника.

Тип россыпи. Россыпи водотоков 1–2-го порядков среднего течения реки Адыча разделяются по типу на ложковые, русловые, террасовые, долинные. Террасовые и долинные россыпи связаны с ранними этапами развития долины водотока [7], русловые россыпи – с более поздними, ложковые – с современными процессами. Чем моложе россыпь, тем выше вероятность обнаружения вероятного источника.

Результаты

Таким образом, заключение о типе источника россыпи строится на основании результатов анализа группы вещественных факторов. Вероятность локализации источника россыпи открывается при анализе группы геолого-геоморфологических факторов (рис. 1).

На основе представленных информационно-логических схем (см. табл. 1 и рис. 1) делается возможным не только определение типа источника россыпи, но и их количества, а также оценивается возможность обнаружения источника россыпи, что в свою очередь может привести к приросту сырьевой базы исследуемого района.

На основе данного подхода разработана интерактивная программа (язык программирования – Python), позволяющая оперативно проанализировать отдельно взятый водоток (рис. 2).

От оператора требуется ввести степень окатанности золотин, отметить золотины со сростками с другими минералами, оценить представленность тяжелой фракции, указать порядок исследуемого водотока и тип россыпи. Для россыпных образований с предполагаемым источником в виде промежуточного коллектора вводится дополнительный критерий – «Пространственная связь с террасами

древних эрозионных уровней». Пересчет степени окатанности из полуколичественной пятибалльной в трехбалльную шкалу производится автоматически.

Результат работы программы – выводы о типе источника россыпи исследуемого водотока, вероятности продолжающегося сноса и вероятности локализации источника (рис. 3). В настоящее время данная программа апробирована автором на 21 ручье в районе среднего

течения р. Адыча. Построена схема распределения россыпей водотоков низких порядков с выделенными перспективными на обнаружение коренного скопления золота площадями, а также водотоками, промышленная значимость которых не установлена, однако и не исключается в силу геолого-геоморфологических предпосылок образования россыпных объектов, в том числе пространственной связи с остатками террас I, II, III эрозионных уровней (рис. 4).

Вывод о типе источника по окатанности	Порядок водотока	Геолого-геоморфологические факторы		Вещественные факторы			Выводы										
		Тип россыпи	Наличие эрозионных останцов древних	Наличие сростков с минералами	Представленность тяжелой фракции		Вероятность продолжающегося сноса	Вероятность обнаружения источника									
					Вывод	Вывод											
Промежуточный коллектор	1	ложковая	I	В случае наличия менее 5% золота со сростками минералов, можно говорить о том, что предполагаемый тип источника (промежуточный коллектор) - подтверждается, в противном случае этот факт свидетельствует о вероятном наличии дополнительного источника иного типа (рудного)	отсутствует	подтверждается	широко	не опровергается	высокая	средняя							
			II/III							высокая							
			нет							средняя							
		русовая	I							средняя							
			II/III							высокая							
			нет							средняя							
	2	русовая	I						для оценки следует изучить водоток I порядка	средняя							
			II/III								высокая						
			нет								средняя						
		террасовая	I								средняя						
			II/III									высокая					
			нет									средняя					
долинная	I	средняя															
	II/III		высокая														
	нет		средняя														
Рудный	1		ложковая	I	Наличие сростков с минералами обусловлено удаленностью от коренного источника россыпи	отсутствует	не опровергается	широко	подтверждается	высокая	высокая						
				II/III							высокая						
				нет							высокая						
		русовая	I	>5%							высокая	высокая					
			II/III	<5%								средняя					
			нет	>5%								высокая					
	I		<5%	средняя													
	II/III		>5%	высокая													
	нет		<5%	средняя													
	2	террасовая	I	>5%						для оценки следует изучить водоток I порядка	средняя						
			II/III	<5%													
			нет	>5%													
		долинная	I	<5%								средняя					
			II/III	>5%													
			нет	<5%													
	Несколько источников различных типов	1	ложковая	I						В случае наличия нескольких источников различного типа, вещественные характеристики золота следует рассматривать отдельно для источника золота в виде промежуточного коллектора (для золотин с высокой степенью окатанности) и отдельно для источника рудного типа (золотины низкой степени окатанности). Вероятность обнаружения источника обосновывается исключительно на основе геолого-геоморфологических критериев (тип россыпи и порядок водотока).	отсутствует		не опровергается	широко	подтверждается	высокая	средняя
				II/III													высокая
				нет													средняя
			русовая	I								высокая					
				II/III								низкая					
				нет								низкая					
		2	террасовая	I								для оценки следует изучить водоток I порядка				низкая	
				II/III													низкая
				нет													низкая
долинная			I	низкая													
			II/III		низкая												
			нет		низкая												

Рис. 1. Логико-информационная таблица

Fig. 1. Logical-information table

Определение типа источника

Группа вещественных факторов

№ Золотин	Пятибальная шкала окатанности	Наличие сростков с минералами
42	4	<input type="checkbox"/>
43	4	<input type="checkbox"/>
44	4	<input type="checkbox"/>
45	4	<input type="checkbox"/>
46	4	<input type="checkbox"/>
47	5	<input type="checkbox"/>
48	5	<input type="checkbox"/>
49	5	<input type="checkbox"/>
50	5	<input type="checkbox"/>
51	4	<input type="checkbox"/>
52	4	<input type="checkbox"/>
53	4	<input type="checkbox"/>
54	4	<input type="checkbox"/>
...

Представленность тяжелой фракции:

Группа геолого-геоморфологических факторов

Порядок водотока: Тип россыпи:

Пространственная связь с террасами древних эрозионных уровней:

Группа вещественных. Позволяет определить вероятный тип источника и достоверность полученного результата.

Группа геолого-геоморфологических признаков. Позволяет определить возможность локализации источника, а также оценить вероятность продолжающегося сноса.

В случае установления наличия нескольких источников различного типа, оценивается возможность

Расчет

Рис. 2. Определение вероятного типа источника для техногенной россыпи руч. Снежный

Fig. 2. Revealing the likely type of gold source for technogenic placer of Snezhny creek

Определение типа источника

Выводы

Достоверность выборки:

Тип источника:

Вероятность продолжающегося сноса золота:

Вероятность локализации источника:

Подтверждение вывода на основании представленности тяжелой фракции:

Подтверждение вывода на основании наличия сростков золота с минералами:

Рис. 3. Результаты, выдаваемые программой

Fig. 3. The program findings

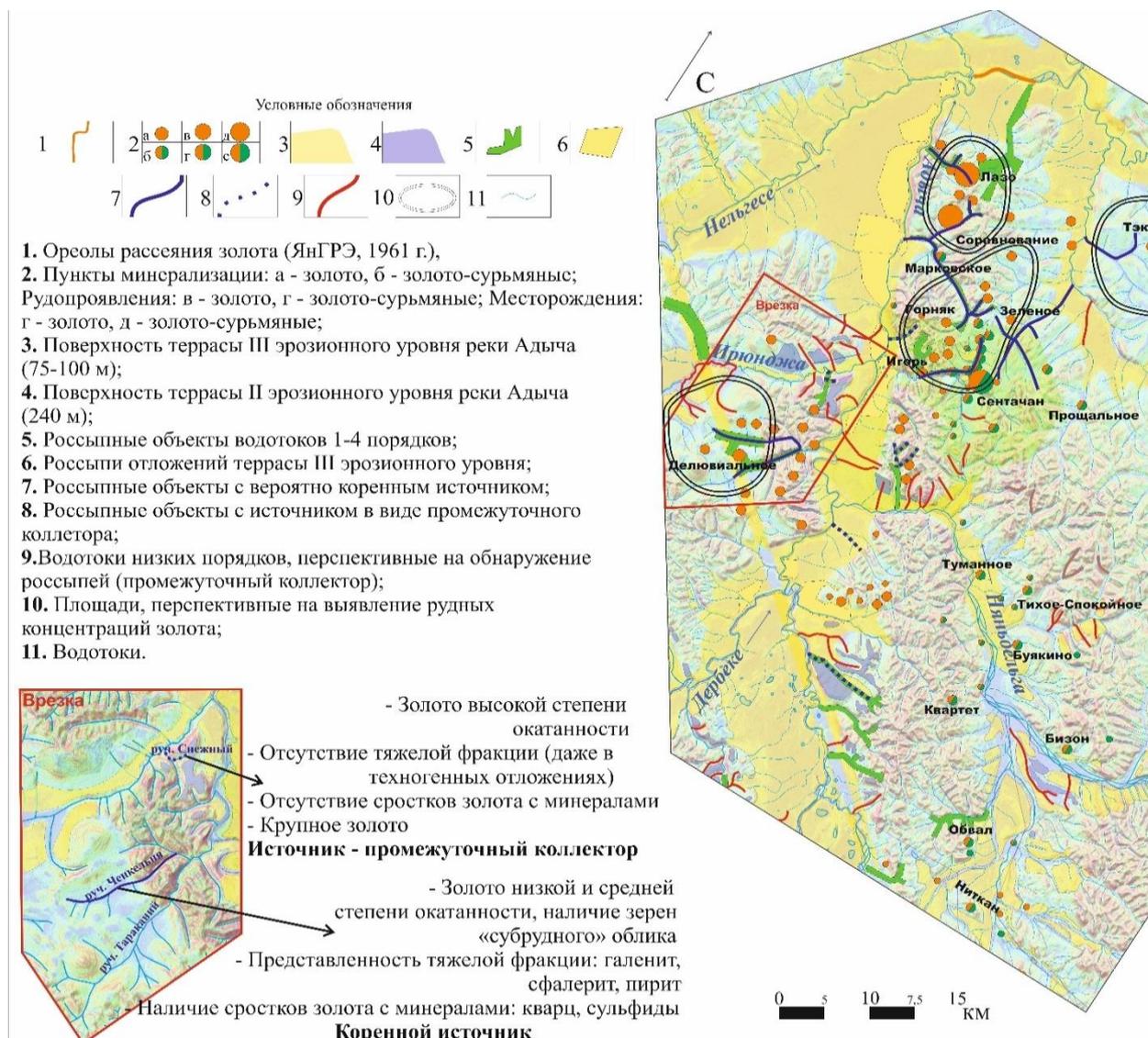


Рис. 4. Фрагмент карты золотоносности района среднего течения реки Адыча с элементами прогноза

Fig. 4. Fragment of gold mineralization map of the Adycha River middle reach area with forecast elements

Выводы

Разработанный программный продукт позволяет определить тип источника россыпи и возможность определения его местонахождения на основе морфологического анализа золотин, характеристик тяжелой шлиховой фракции и группы геолого-геоморфологических признаков россыпесодержащих водотоков. Несомненно, факторов, влияющих на россыпеобразование значительно больше, чем шесть исследованных. Однако именно эти критерии явля-

ются наиболее значимыми при решении поставленной задачи, а именно определения типа источника россыпи и возможности определения его местонахождения. Комплексное исследование различных вещественных и геолого-геоморфологических факторов россыпных образований позволяет не только оценивать промышленный потенциал водотоков, но и составлять прогнозно-поисковые модели экзогенной золотосности, что в свою очередь способствует открытию новых россыпных объектов.

Библиографический список

1. Chapman R. J., Mortensen J. K. *Characterization of placer- and lode-gold grains as an exploration tool in east-central British Columbia*. (Parts of NTS 093A, B, G, H). Geoscience BC Summary of Activities 2010; Geoscience BC. Report 2011-1. P. 109-122.
2. Brown J., Yin J. Technical Report on the 2000-2008 *Exploration Programs on the Golden Cariboo Project Wells, British Columbia*. Cariboo Mining Division Technical Report. 2009.
3. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26. DOI: 10.1016/j.gexplo.2005.12.004.
4. Jenkin G. R. T., Lusty P. A. J., McDonald I., Smith M. P., Boyce A. J., Wilkinson J. J. *Ore deposits in an evolving Earth: an introduction*. Geological Society Special Publication, 2015;393(1):1-8. DOI: 10.1144/SP393.14
5. Smith D., Jenkin G., Naden J. Finding Solomon's gold? *Planet Earth, Spring*; 2010. P. 10-11.
6. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26.
7. Duk-Rodkin A., Barendregt R. W., White J. M., Singhroy V. H. Geologic evolution of the Yukon River: implications for placer gold. *Quat. Int.* 2001;82(1):5-31.
8. Goryachev N., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geol.* 2014;59:123-151.
9. *Методика разведки россыпей золота и платиноидов*. М.: ЦНИГРИ; 1992. С. 144-146.
10. Владимирцева О. В. О вероятном источнике аллювиальных россыпей золота руч. Куранах и Снежный (Верхоянский район, Якутия). *Разведка и охрана недр*. 2019;(6):10-14.

References

1. Chapman R. J., Mortensen J. K. *Characterization of placer- and lode-gold grains as an exploration tool in east-central British Columbia*. (Parts of NTS 093A, B, G, H). Geoscience BC Summary of Activities 2010; Geoscience BC. Report 2011-1. P. 109-122.
2. Brown J., Yin J. Technical Report on the 2000-2008 *Exploration Programs on the Golden Cariboo Project Wells, British Columbia*. Cariboo Mining Division Technical Report. 2009.
3. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26. DOI: 10.1016/j.gexplo.2005.12.004.
4. Jenkin G. R. T., Lusty P. A. J., McDonald I., Smith M. P., Boyce A. J., Wilkinson J. J. *Ore deposits in an evolving Earth: an introduction*. Geological Society Special Publication, 2015;393(1):1-8. DOI: 10.1144/SP393.14
5. Smith D., Jenkin G., Naden J. Finding Solomon's gold? *Planet Earth, Spring*; 2010. P. 10-11.
6. Chapman R. J., Mortensen J. K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *J. Geochem. Explor.* 2006;91(1-3):1-26.
7. Duk-Rodkin A., Barendregt R. W., White J. M., Singhroy V. H. Geologic evolution of the Yukon River: implications for placer gold. *Quat. Int.* 2001;82(1):5-31.
8. Goryachev N., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geol.* 2014;59:123-151.

9. Techniques of gold and platinoid placer exploration. Moscow: TSNIGRI; 1992. P. 144–146. (In Russ.).
10. Vladimirtseva O. V. On the probable source of alluvial gold in Kuranakh and Snezhny creeks (Verkhoyansk district, Yakutia). *Exploration and subsoil protection*. 2019;(6):10–14. (In Russ.).