

**А.С. Зинкевич, С.В. Ворошин**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛАНСА РУДНОГО И РОССЫПНОГО ЗОЛОТА (НА ПРИМЕРЕ ДЕГДЕКАН-АРГА-ЮРЯХСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

### **Введение**

Величина эрозионного среза и количество золота, сконцентрированного в россыпях, дают возможность с помощью балансовых расчетов оценить гипотетическое количество рудного золота на единицу объема эродированных пород и тем самым лучше понять процессы россыпеобразования. Проведение балансовых расчетов интересно также с точки зрения прогнозирования рудных объектов, локализованных ниже современной поверхности.

Начало данному направлению исследований положил Ю.А. Билибин, указывая на эрозионно-денудационный вырез, как фактор, определяющий богатство россыпей [5]. Впоследствии В.Д. Аксеновой с соавторами было показано влияние эрозионного среза на распределение россыпей в золотоносных зонах Яно-Колымского пояса, а также тесная взаимосвязь между денудацией бассейна и россыпями [2, 3]. Вопросы количественной оценки россыпеобразования Яно-Колымского пояса изучались рядом авторов с целью определения местоположения, оценки масштабов коренных источников и подсчета ресурсов оставшейся части рудных тел [6, 12]. Похожие исследования проводились и на Северо-Американском континенте, где на основе баланса вещества сделана оценка соответствий значений добытого россыпного и ресурсов рудного золота для различных золотоносных районов [17, 18].

В статье для расчета баланса рудного и россыпного золота использованы функциональные возможности ГИС, что позволило провести многовариантные вычисления и испытать все многообразие методических подходов. Объектом исследования является Дегдекан-Арга-Юряхский рудно-россыпной узел, расположенный в крупнейшей металлогенической провинции России Яно-Колымском золотоносном поясе. Границы узла проведены в соответствии со структурной интерпретацией В.Г. Шахтырова [14]. Важной особенностью узла является наличие водо-

сборных бассейнов, как с известными коренными месторождениями золота, так и содержащих исключительно непромышленные рудопроявления и пункты минерализации, которые выступали в качестве коренного источника россыпей. Для проведения расчетов были оконтурены бассейны, содержащие более 95% от всего россыпного золота узла (рис. 1).

### **Геолого-математическая основа расчетов**

Предлагаемая в работе модель баланса рудной и россыпной золотоносности основывается на следующих постулируемых положениях:

1. *Россыпеобразующей формацией на территории узла является золото-кварцевая* [16, 13]. Все другие типы оруденения либо отличаются крайне ограниченным распространением на площади узла, либо не относятся к числу россыпеобразующих, как, например, рассеянная сульфидная минерализация, которая может образовывать значительные по запасам коренные руды с убогим содержанием и с субмикроскопическими выделениями золота.

2. *Значительная вертикальная обеспеченность золото-кварцевого оруденения.* Данное положение обосновывается отсутствием выраженной вертикальной зональности оруденения и субвертикальным положением рудных тел. Л.В. Фирсов (1985 г.) на большом фактическом материале доказал, что изменение содержаний и объемов рудных тел на глубину обуславливается в значительной степени структурными, а не геохимическими факторами. Отсутствие или монотонный характер зональности золото-кварцевого оруденения, в отличие от золото-серебряного отмечали В.И. Гончаров с соавторами [8] при сравнительном минералогическом и термобарогеохимическом анализе. Благоприятная структурная обеспеченность оруденения на глубину подчеркивается в работах В.Г. Шахтырова [15] и связывается со сдвиговой природой рудовмещающих трещин. Это же причи-

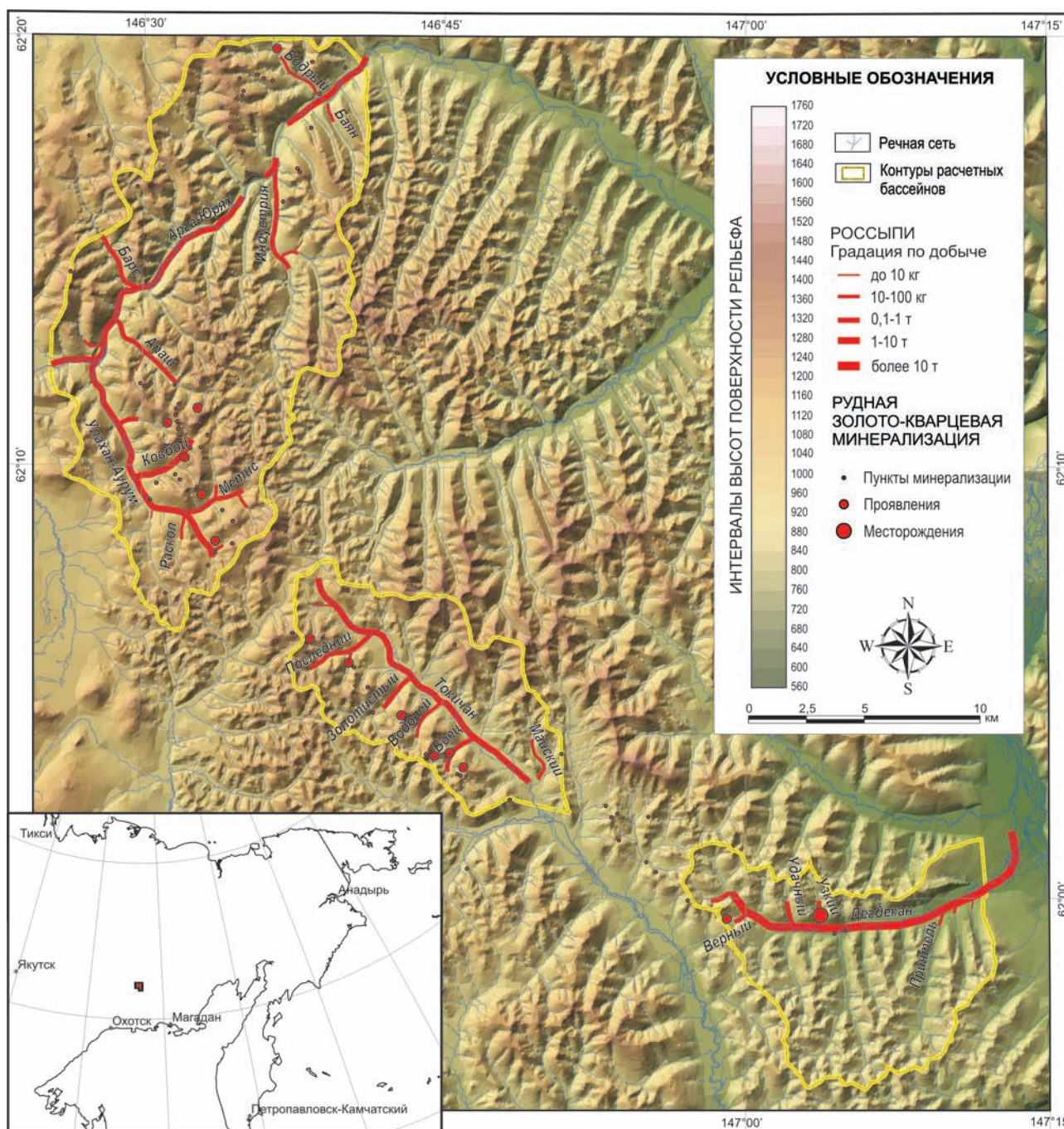


Рис. 1. Схема Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла (контурами показаны площади водосборных бассейнов, для которых проведены расчеты)

на обуславливает и субвертикальное залегание рудных тел. Так для Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла, формирование которого происходило при умеренных амплитудах знакопеременных сдвиговых деформациях, характерно наличие Z-образных трещинных структур, освоенных дайками, и эшелонированных трещин растяжения центрального типа, более благоприятных для движения рудоносных растворов [10]. В подтверждение предположения о значительной структурной обеспеченности рудообразования свидетельствует обилие в дайках спессартитов на месторождении Дег-

декан ксенолитов кристаллических сланцев, гнейсов и магматических пород, идентифицируемых как фрагменты фундамента [4, 1].

3. Запасы золота в аллювиальных россыпях соответствуют геологическими запасами золота, освободившегося из золотосодержащих руд в экзогенных процессах, с учетом показателя россыпеобразующей продуктивности коренных источников. В идеальном случае количество золота, раннее находящееся в эродированной части коренного источника, должно быть равно запасам золота, перешедшего в россыпь. В природе такого соответствия прак-

тически никогда не существует. Невозможно выявить все запасы, находящиеся в россыпи, в силу меняющихся кондиций, потерь при извлечении и других факторов. Обычно количество металла в эродированной части месторождения складывается из суммы добытого золота, механических потерь при окатывании и истирании, потерь при эксплуатации россыпи и количества мелкого (не улавливаемого) золота, свойственного данному структурно-морфологическому типу коренного источника. Суммарная оценка потерь, выраженная через переводной коэффициент от рудного к россыпному золоту отличается у разных авторов. Ю.А. Билибин и В.Н. Зверев (1938 г.) использовали переводной коэффициент для прогнозирования рудных месторождений уже на начальных стадиях промышленного освоения Яно-Колымского золотоносного пояса. По их мнению, все россыпные месторождения должны иметь коренные источники с запасами, превышающими запасы россыпей в 1,5-2,5 раза. По расчетам С.Г. Желнина и И.С. Литвиненко (1983 г.) переводной коэффициент составляет от 1,46 до 8,95. В.Д. Аксенова и М.Е. Городинский при сопоставлении запасов золота россыпных и разведанных коренных месторождений одних и тех же золотоносных узлов показывают, что количество коренного золота в 2,5-3 раза превышает количество россыпного [3]. Величину переводного коэффициента, выраженную в процентах, в литературе, при анализе россыпной золотоносности, используют как *показатель россыпеобразующей продуктивности коренных источников*. Роль различных структурно-морфологических типов коренных источников была рассмотрена и численно выражена через данный показатель В.С. Булгаковым и Е.В. Дешевых [6]. Авторами были учтены рудные тела в виде жил, прожилков, минерализованных зон дробления и тектонических нарушений, окварцованных даек и штокверков с метасоматическим и жильным кварцем, а полученные по ним значения показателя варьировали от 1,7 до 11%. В западной литературе существует похожий коэффициент «efficiency of weathering and concentration processes». Он связывает количество металла в россыпях со средним содержанием золота во вмещающих породах, а его оценки колеблются от 10 до 50% и менее [17, 18].

4. *Современный рельеф бассейнов представляет собой случайный срез всего объема пород вмещающих золото-кварцевое оруденение и характеризует их золотоносность в этом объеме*. Расчлененность рельефа позволяет рассматривать его как поверхность, варьирующую по координате Z от самой низкой высотной отметки дна долины до самой высокой отметки водораздела, и производящую случайную выборку срезанных ею золоторудных объектов. Площадь поверхности бассейнов с учетом ре-

льефа своей разностью с площадью проекции бассейна на горизонтальную плоскость численно показывает расчлененность рельефа и вероятность охвата им большего количества рудных тел. Характер зависимости частоты встречаемости золоторудных объектов от абсолютных высот их выходов соответствует распределению интервалов высот рельефа по занимаемым площадям (рис. 2). Таким образом, поверхность рельефа несет информацию о

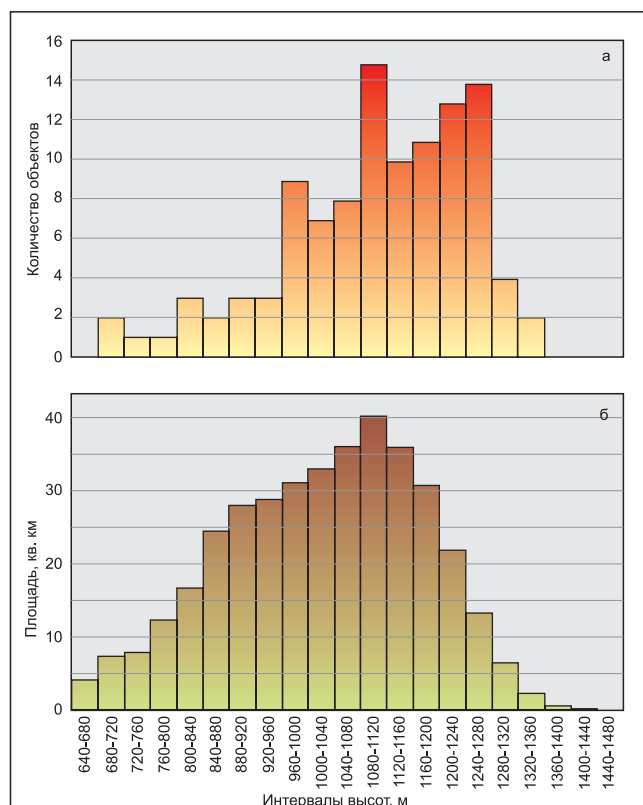


Рис. 2. Характер размещения рудных объектов по высоте (абсолютные отметки рельефа) (а); распределение интервалов высот рельефа в зависимости от занимаемой площади (б)

золотоносности некоторого объема вмещающих пород на высоту превышения долин. Так как золото-кварцевые объекты имеют значительное вертикальное распространение, то уровень золотоносности современного среза рельефа можно распространить на весь объем рудовмещающей толщи.

На основе постулируемых положений, расчет баланса рудного и россыпного золота сводится к вычислению гипотетического количества рудного золота, содержащегося в объеме пород, эродированных при формировании бассейна водотоков и выявлению (или подбору) условий при которых он будет соответствовать количеству россыпного золота. Уравнение баланса имеет следующий вид:

$$P = (V * C * E) / 100,$$

где  $P$  – количество золота добытого из россыпей бассейна водотока, т;  $V$  – объем эродированных пород вмещающих золотоносную минерализацию, км<sup>3</sup>;  $C$  – удельная объемная золотоносность вмещающих пород, т/км<sup>3</sup>;  $E$  – показатель россыпеобразующей продуктивности коренных источников, %. Под золотоносностью понимается нормированное количество золота, локализованного в месторождениях, рудопроявлениях или пунктах минерализации, т.е. только то золото, которое образует самостоятельные минеральные формы в рудных объектах. В этом предлагаемый подход отличается от расчетов, проводившихся в работе [17].

Такое представление модели баланса рудной и россыпной золотоносности позволяет оценить эрозийный срез толщи пород вмещающей золото-кварцевое оруденение через мощность условного горизонтального пласта пород, который был снесен.

### Методика расчетов

Для проведения расчетов на основе ГИС-технологий была создана цифровая векторная модель территории Дегдекан-Арга-Юряхского узла, фактический материал которой основывается на:

- 1) Государственной геологической карте, масштаб 1:200000, листы Р-55-ХV, ХVI; Р-55-ХХI, ХХII;
- 2) карте золотоносности, масштаб 1:100000, Кулино-Тенькинская группа листов, листы Р 55-65, 66, 67, 78, 79 (В.С. Булгаков, И.В. Танаева и др., 1987 г.);
- 3) материалах о групповой геологической съемке и доизучении масштаба 1:50000 с общими поисками в пределах Арга-Юряхского рудного узла (Карелин Ю.П. и др., 1990 г.).

Картографические материалы сканировались, затем, с помощью программы Erdas Imagine 8.6, каждый лист трансформировался по известным опорным точкам координатной сети в реальные географические координаты и сохранялся в формате \*.img, который позволяет хранить пространственные координаты растровых файлов. С помощью опций «Subset Image...» Erdas Imagine 8.6 в растровых изображениях было удалено зарамочное оформление карт. Полученные файлы в проекте ArcMap 8.3 составили цифровую мозаику листов карты Дегдекан-Арга-Юряхского узла, которые послужили растровой подложкой для создания векторной модели узла. Поскольку с помощью ГИС производились расчеты площадей и расстояний, то с целью уменьшения картографических искажений выбрана система координат 1942 года для проекции Гаусса-Крюгера. Территория узла располагается в 25-ой шестиградусной зоне равноугольной поперечной цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера с центральным мери-

дианом 147° в.д. В созданную геоинформационную систему включены графические и атрибутивные данные представленные в виде локальных шейп-файлов и SDE классов многопользовательской геобазы данных по темам: рельеф, гидрография, рудные и россыпные месторождения золота. Векторная модель Дегдекан-Арга-Юряхского узла послужила основой для построения TIN-поверхностей выбранных бассейнов в модуле 3D Analyst ArcGis 8.3. Неперегулярная триангуляционная сеть (triangulated irregular network, TIN) состоит из точек, каждой из которых сопоставлено значение, соответствующее высоте. По этим точкам производится построение сети треугольников, т.е. триангуляция, которая образует непрерывную поверхность в трехмерном пространстве (рис. 3). Построение Tin-поверхностей производилось для каждого бассейна в отдельности в пределах границ полигонов слоя «Контурные бассейнов». Стандартный интерфейс ArcMap 8.3 с помощью функций анализа поверхности (Surface Analysis) модуля 3D Analyst ArcGis 8.3 (рис. 4) позволил без создания дополнительного математического аппарата вычислить площади проекций на горизонтальную плоскость, площади поверхностей с учетом рельефа и объемы эродированных пород для выделенных бассейнов.

Таким образом, геоинформационная система Дегдекан-Арга-Юряхского узла послужила многофункциональным инструментом ввода, визуализации, анализа и вывода информации, необходимой для решения поставленных задач. При подготовке и обработке данных на различных стадиях использовались программные средства фирм ESRI (США) и Leica Geosystem (США): пакет ArcGIS 8.3 (приложения: ArcMap, ArcCatalog, ArcScene, ArcToolbox, ArcSDE (for MS SQL Server 2000) и модули: 3D Analyst, Geostatistical Analyst, Spatial Analyst) и ERDAS IMAGINE 8.6.

### Характеристика рудных и россыпных объектов

Узел расположен в бассейнах руч. Дегдекан, Токичан и р. Арга-Юрях (бассейн одного из истоков р. Колыма р. Кулу) и рассматривается как единая Дегдекан-Арга-Юряхская тектоно-магматическая рудная система, приуроченная к Тенькинскому глубинному разлому северо-западного направления [10]. Всего на территории узла выявлено одно коренное месторождение, 12 рудопоявления, около 70 пунктов минерализации и 42 россыпи золота.

Рудные тела коренных месторождений и рудопоявлений представлены кварцевыми жилами, системами кварцевых прожилков и минерализованными зонами дробления. На юго-востоке узла в бас-



Рис. 3. Триангуляция поверхности бассейна руч. Дегдекан

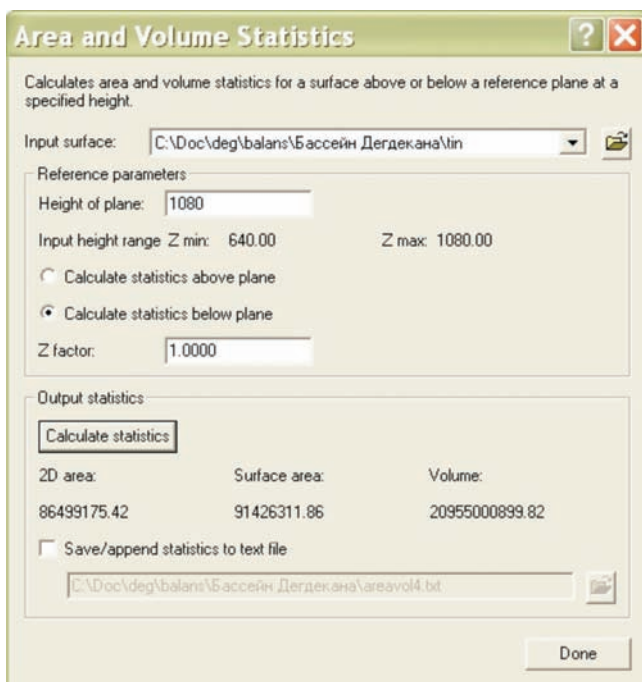


Рис. 4. Расчет площадей и объемов с помощью функций анализа поверхности (Surface Analysis) модуля 3D Analyst ArcGis 8.3.

сейне руч. Дегдекан преобладают кварцевые жилы мощностью до 1 м, слагающие одноименное месторождение. Далее на северо-запад в бассейне руч. Токичан возрастает роль минерализованных зон дробления и прожилковых систем, а в бассейне р.

Арга-Юрях золоторудные объекты представлены рассеянной прожилково-вкрапленной минерализацией, приуроченной к прослоям грубозенитных терригенных пород. Все россыпи золота аллювиальные долинные, в бассейнах некоторых водотоков развиты золотоносные террасы нескольких уровней.

Основным источником данных о добыче россыпного золота послужила Объяснительная записка к карте золотоносности Кулино-Тенькинской группы листов масштаба 1:100000 (Булгаков, Танаева; 1987 г.) и Кадастр россыпных месторождений Охотско-Колымского региона (Вознесенский и др., 1999 г.). На сегодняшний день на территории рассматриваемых бассейнов практически все россыпные месторождения отработаны, суммарная добыча превысила 45 т металла (рис. 5).

Оценка количества золота в рудных месторождения, рудопоявлениях и пунктах минерализации более неопределенна. Всего на площадь выделенных бассейнов приходится 80 золоторудных объектов (табл. 1). В расчет золотоносности были взяты средние параметры рудных тел: мощность, протяженность, содержание золота, коэффициент рудоносности, плотность. Для объектов состоящих из нескольких тел расчет производился по каждому телу отдельно. Плотность руды принята равной  $2,5 \text{ т/м}^3$ . Полученные значения по каждому объекту (рудному телу) суммировались и нормировались на единицу объема эродированных пород.

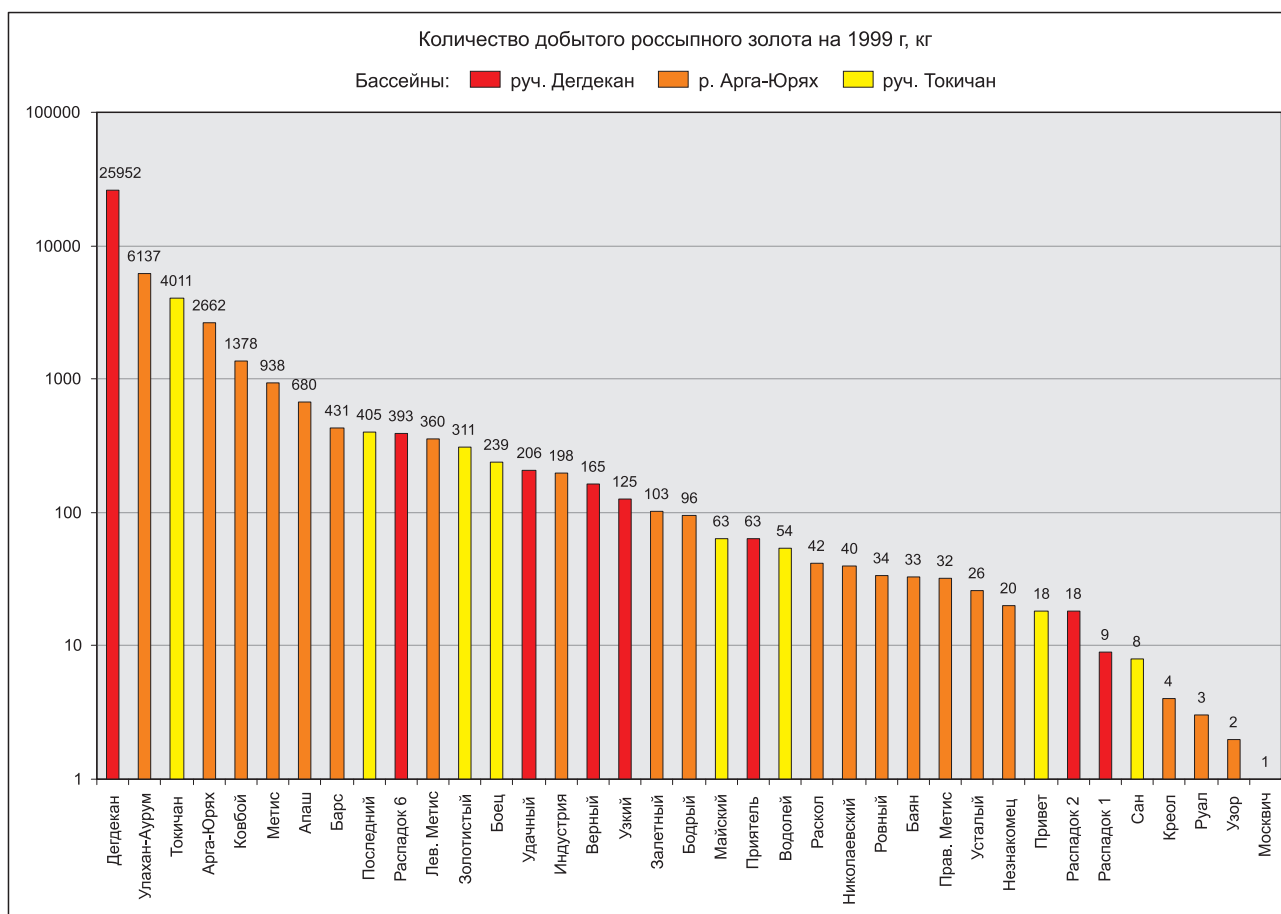


Рис. 5. Количество добытого россыпного золота по водотокам

Таблица 1

Распределение золоторудных объектов по бассейнам

Бассейн	Количество золоторудных объектов			Доля месторождений и рудопроявлений
	Месторождения	Проявления	Пункты минерализации	
руч. Дегдекан	1	1	2	0,7
руч. Токичан	-	6	12	0,3
р. Арга-Юрях	-	6	52	0,1

Результаты расчетов

Расчет объемов эродированных пород ( $V_{cp}$ ), включающий максимальный уровень пострудной поверхности для эрозионного среза, имеет гипотетический характер, поэтому в качестве начального показателя взят объем эродированных пород при эрозионном врезе ( $V_{вр}$ ). Такой показатель, хотя и является заниженным, но фактически отражает мини-

мальное количество эродированных пород. Высота эрозионно-денудационного вреза, который является частью эрозионного среза образованной за отрезок времени, определяется как разница между самой высокой ( $H_{max}$ ) и самой низкой ( $H_{min}$ ) высотной отметками в пределах бассейна, которые приурочены к водоразделу и к днищу долины соответственно (рис. 6).

Разницей между ними является максимальное превышение бассейна ( $h$ ). Объем эродированных пород рассчитывается при постоянной площади бассейна (площади проекции бассейна на горизонтальную плоскость), пространственно определяемой площадью водосборного бассейна границами которого вкрест простирания долины являются водоразделы, а по простиранию наличие россыпей

золота. Предполагаемые уровенные поверхности как в случае эрозионно-денудационного вреза, так и при эрозионном срезе приняты плоскостями. Объем снесенных пород для эрозионного вреза численно равен объему тела заключенному между поверхностью рельефа и плоскостью уровня водораздела, ограниченного по горизонтали площадью бассейна (рис. 7).

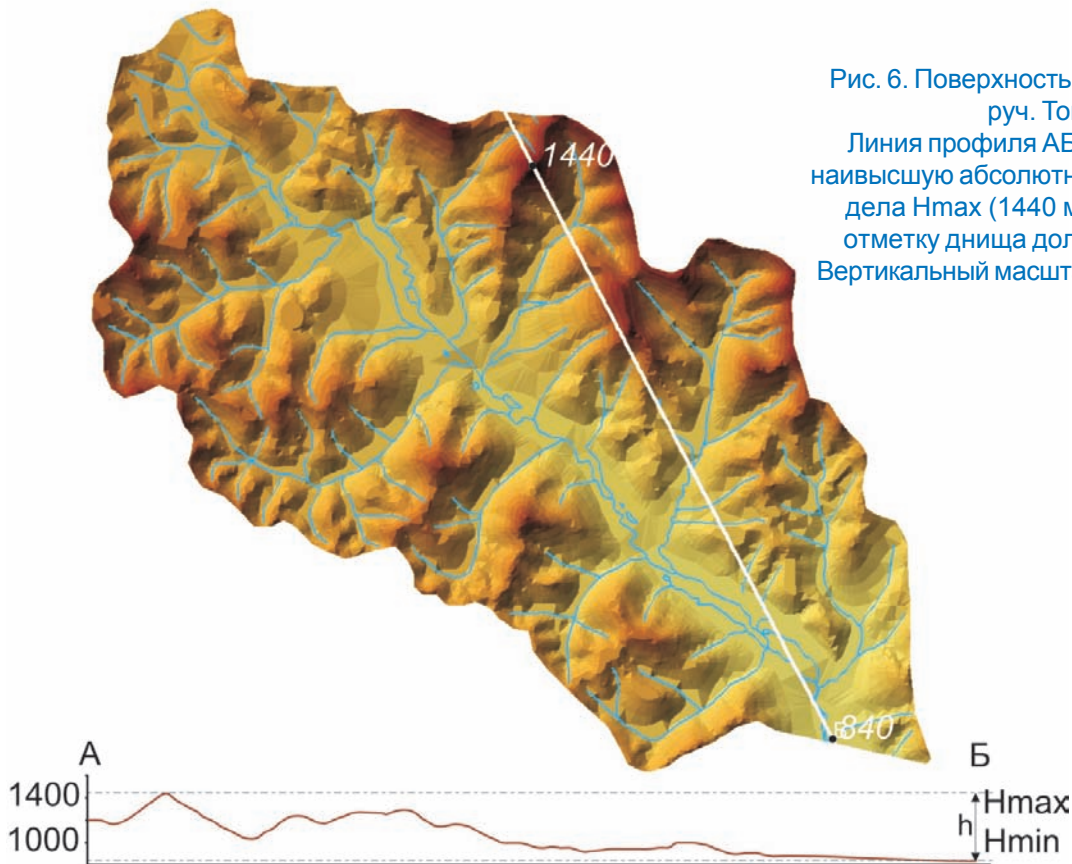


Рис. 6. Поверхность рельефа бассейна руч. Токичан.

Линия профиля АБ проведена через наивысшую абсолютную отметку водораздела  $H_{max}$  (1440 м) и самую низкую отметку дна долины  $H_{min}$  (840 м). Вертикальный масштаб профиля изменен

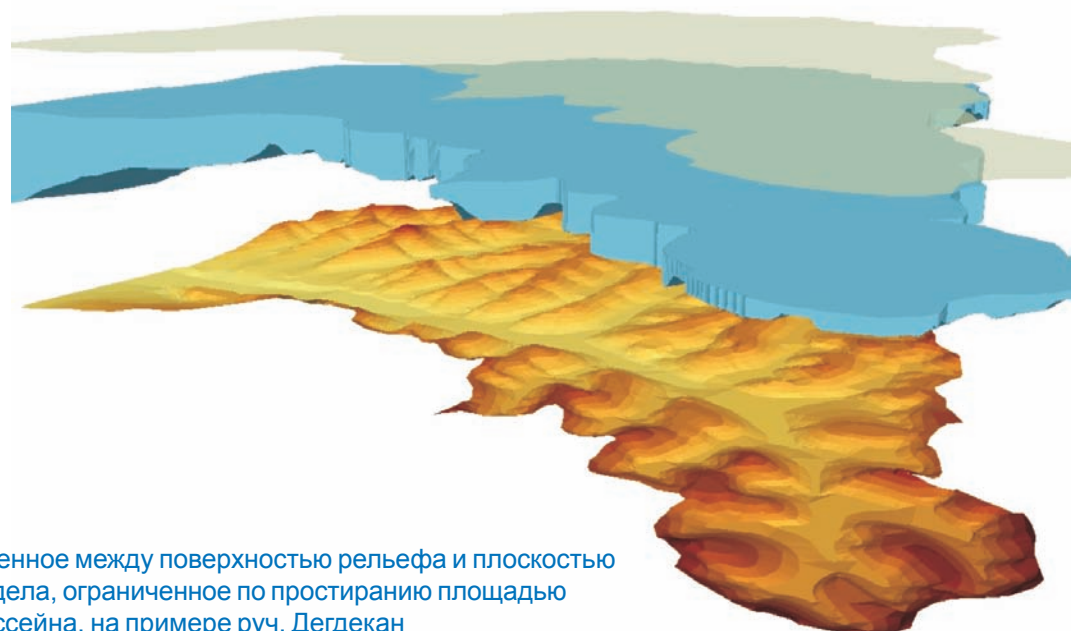


Рис. 7. Тело, заключенное между поверхностью рельефа и плоскостью уровня водораздела, ограниченное по простиранию площадью бассейна, на примере руч. Дегдекан

Показатель россыпеобразующей продуктивности коренных источников золото-кварцевой формации (E) взят из литературных источников [6, 12, 17, 18]. Приняты его усредненные крайние значения 7 и 68%. Рассчитанные численные значения площа-

ди проекции бассейнов на горизонтальную плоскость ( $S_{2D}$ ), площади поверхности бассейнов с учетом рельефа ( $S_{3D}$ ) и объемы эродированных пород показаны в табл. 2.

Таблица 2

Бассейн	Hmin, м	Hmax, м	h, м	$S_{2D}$ , км <sup>2</sup>	$S_{3D}$ , км <sup>2</sup>	$V_{вр}$ , км <sup>3</sup>	Кэр	P, т	Свр, т/км <sup>3</sup>		Рк, т	
									E = 7%	E = 68%	E = 7%	E = 68%
руч. Дегдекан	640	1080	440	87	91	21	0,5	27	18,4	1,8	385	40
руч. Токичан	840	1440	600	74	80	28	0,6	5	2,6	0,3	73	8
р. Арга-Юрях	800	1460	660	219	237	81	0,6	13	2,3	0,2	189	20

**Параметры баланса рудной и россыпной золотоносности Дегдекан-Арга-Юряхского узла**

Мощность условного горизонтального пласта пород (m) находилась приведением объемов эродированных пород ( $V_{cp}$ ) к площади современного бассейна ( $S_{2D}$ ) (рис. 8):

$$m = V_{cp}/S_{2D}$$

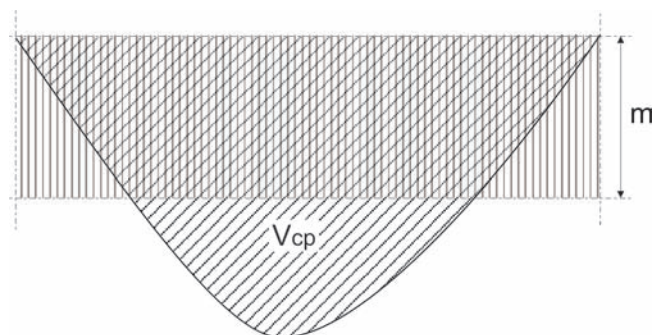


Рис. 8. Схематический профиль бассейна (эродированные породы объемом  $V_{cp}$  и приведенный горизонтальный пласт снесенной рудовмещающей толщи мощностью  $m$ )

Расчет производился на основе нормированной объемной золотоносности, независимой от других показателей баланса и оцененной по данным о разведке и эксплуатации коренных месторождений, проявлений и пунктов минерализации золота известных на территории узла. Исходя из принятого уравнения баланса задача определения величины эрозионного среза сводится к определению величины

объема  $V_{cp}$  на который нужно распространить рассчитанную по коренным источникам золотоносность эродированных пород  $C_{cp}$ , чтобы при определенной россыпной продуктивности этих коренных источников E в бассейне было накоплено имеющееся количество россыпного золота P (табл. 3).

**Обсуждение результатов**

Минимальное расстояние до поверхности в момент формирования золоторудных месторождений узла по разным оценкам составляло 1,5-2,5 км, то есть в момент завершения орогенной стадии развития района золоторудные тела не могли быть вовлечены в сферу денудации. Отсутствие в пределах реликтов выравнивания и древней гидросети установленных россыпей свидетельствует, что к моменту завершения формирования поверхности выравнивания коренные источники либо только вскрывались (в зонах обрамления впадин), либо подходили к поверхностям выравнивания [11]. Поэтому масштабы россыпеобразования определяются объемом продуктивного материала, снесенного с поверхностей междуречий и эрозионных врезов, начиная с олигоцен-миоценовой поверхности. Реликты поверхностей выравнивания, зафиксированные в районе, представляют собой ровные, почти горизонтальные, слабо наклонные (2-3°) в сторону долин площадки. Обычно такие площадки располагаются на вершинах (реже склонах)

**Определение мощности приведенного горизонтального пласта при различной россыпеобразующей продуктивности коренных источников**

Бассейн	руч. Дегдекан		руч. Токичан		р. Арга-Юрях	
Удельная золотоносность по данным о коренных источниках, т/км <sup>3</sup>	0,8		0,2		0,1	
Россыпеобразующая продуктивность коренных источников, %	7	68	7	68	7	68
Гипотетическое количество переработанного рудного золота (Рк), т	385	40	73	8	189	20
Объем эродированных пород (V <sub>ср</sub> ), км <sup>3</sup>	484	50	467	48	1537	158
Мощность приведенного горизонтального пласта, км	5,5	0,6	6,3	0,6	7,0	0,7

водоразделов. С такой позиции можно считать обоснованной предполагаемую уровенную поверхность с высотой водораздела, а эрозия рассчитанных объемов пород действительно привела к образованию имеющихся россыпей. Следовательно, и рассчитанные площади водосборных бассейнов приближены к реальным.

Разница почти в 10 раз для рассчитанных значений гипотетической золотоносности каждого из бассейнов исходит из уравнения и связана с оценкой россыпеобразующей продуктивности. Расчеты с использованием золотоносности вмещающих пород, основанной на данных о коренных источниках, показали, что наиболее вероятной является максимальная россыпеобразующая продуктивность коренных источников равная 68%, которой в балансе соответствуют минимальные мощности эродированного условного горизонтального слоя вмещающих пород. Эти значения сопоставимы с оценками приведенными другими исследователями [7]. Максимальные мощности сомнительны как по соответствующим им количествам переработанного коренного золота, так и с позиции вероятной глубины формирования золото-кварцевой формации.

С точки зрения временного интервала образования россыпей водотоков (плейстоцен, 1,6 млн. лет) за один год с поверхности водосборов должен был сноситься слой пород мощностью 0,4 мм. Однако если для расчетов использовать данные о современном твердом стоке р. Кулу (4,7 м/млн. лет) [9], то развитие бассейнов должно было бы продолжаться около 138 млн. лет, начиная с валанжинского века мелового периода) при годовом срезе 0,0047 мм. Такая существенная разница может быть свя-

зана как с более высокой скоростью эрозии территории в прошлом, так и с неполным учетом данных, использованных для расчетов.

### Заключение

Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность инструментов ГИС для проведения балансовых расчетов. Возможность использования различных алгоритмов, получение статистических параметров, расчеты методом последовательных приближений, быстрые вычисления площадей, имеющих сложную пространственную конфигурацию, и объемов неправильной формы вот главные преимущества ГИС-технологий.

Полученные результаты показывают, что россыпи Дегдекан-Арга-Юряхского узла были сформированы за счет золото-кварцевых месторождений (60%), рудопоявлений (20%) и пунктов минерализации (20%). По мере изменения характера коренных источников с юго-востока на северо-запад (от концентрированного крупного источника в бассейне руч. Дегдекан до многочисленных рассеянных пунктов минерализации в бассейне р. Арга-Юрях) меняется и удельная золотоносность от 1,8 до 0,2 т/км<sup>3</sup>, при среднем значении 0,5 кг/км<sup>3</sup>.

Таким образом, формирование крупных россыпей узла возможно как за счет концентрированных крупных источников жильного типа (руч. Дегдекан), так и обширных полей мелких прожилковых проявлений (руч. Улахан-Аурум), при этом наиболее вероятен высокий показатель россыпеобразующей продуктивности (68%) и минимальные мощности условного горизонтального пласта эродированных пород.

### Благодарности

Статья является частью дипломной работы А.С. Зинкевича, защищенной на кафедре геологии Инженерно-геологического института Северного Международного университета г. Магадана в 2004 г. В создании геоинформационной системы Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла принимали участие Голубенко И.С. и Тернавский А.Я. Методические приемы и полученные результаты обсуждались с Тюковой Е.Э., Мельником В.Г., Караваевым И.Б. Всем перечисленным лицам авторы выражают свою признательность.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Акинин В.В., Ворошин С.В., Гельман М.Л., Леонова В.В. SHRIMP-датирование метаморфических ксенолитов из лампрофира на золоторудном месторождении Дегдекан: к истории преобразования континентальной Земной коры в Аян-Юряхском антиклинории (Яно-Колымская складчатая система) // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики: в 3-х т.: Материалы Всероссийского совещания, посвященного 90-летию академика Н.А.Шило. Магадан, 3-6 июня 2003 г. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 2. С. 142-146.
2. Аксенова В.Д., Генкин П.О., Дробкин И.Е. Влияние эрозионного среза на распределение россыпей в золотоносных зонах Яно-Колымского пояса // Проблемы геологии россыпей. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1970. – С. 274-278.
3. Аксенова В.Д., Городинский М.Е. Методика прогнозирования металлоносности по эрозионному срезу // Мат-лы по геол. и полезн. ископ. Северо-Востока СССР. – Магадан, 1980. – Вып. 25. – С. 138-146.
4. Бабайцев О.В. Ксенолиты метаморфических пород в диоритовых дайках юго-западной части Яно-Колымской области // Проблемы металлогении Северо-Востока СССР. Магадан. 1984. С. 97-102.
5. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 464 с.
6. Булгаков В.С., Дешевых Е.В. О россыпеобразующей продуктивности руд золото-кварцевой формации // Мат-лы по геол. и полезн. ископ. Северо-Востока СССР. – Магадан, 1978. – Вып. 24. – С. 123-130.
7. Воскресенский И.С., Каревская И.А., Ковалев С.Н. Позднекайнозойский эрозионно-денудацион-

ный вырез и прогнозная оценка россыпей Дальнего Востока России // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Т. 3. Четвертичная геология, геоморфология, россыпи. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 60-62.

8. Гончаров В.И., Еремин Р.А., Котляр И.Н., Савва Н.Е., Шахтыров В.Г. Геолого-генетические модели золото- и сереборудных формаций Северо-Востока СССР // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока Азии. – Владивосток, 1984. – С. 109-127.

9. Государственный водный кадастр. Т. 1. Выпуск 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. Ленинград: Гидрометеоздат, 1985.

10. Еремин Р.А., Шахтыров В.Г. Типизация геологоструктурных обстановок проявления золото-кварцевой формации для прогнозирования оруденения // Тихоокеан. геол. – 1985. № 5. – С. 72-78.

11. Желнин С.Г. Условия образования аллювиальных россыпей золота на Северо-Востоке Азии. М.: Наука, 1979, 120 с.

12. Желнин С.Г. О методах локального прогноза коренных источников золото-кварцевой формации // Колыма. – 1989. – № 12. – С. 12-13.

13. Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. – Новосибирск: Наука, 1985. – 214 с.

14. Шахтыров В.Г. Методические рекомендации по изучению сдвигов при поисково-съемочных и разведочных работах. Магадан: СВКНИИ, 1987. 67 с.

15. Шахтыров В.Г. Рудоконтролирующее значение «сколов Риделя» при формировании золоторудных месторождений // Новые данные по геологии и металлогении Северо-Востока России (тематический обзор работ 1992-1996 гг.). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 188-203.

16. Шило Н.А. Геологическое строение и коренные источники Яно-Колымского пояса россыпной золотоносности. Магадан: ВНИИ-1, 1960. – 108 с.

17. Loen J.S. Mass balance constraints on gold placers possible solutions to «source area problems» // Econ. Geol. – 1992. – Vol. 87. – P. 1624-1634.

18. Yeend W. Calculated gold resource in Circle and Forty-mile placers // Geologic studies in Alaska by the U.S. Geological Survey, 1993: U.S. Geological Survey Bulletin. – 1993. – P. 91-93.