

УДК 551

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ ВАЛЬКУМЕЙСКОЙ ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ РОССЫПИ (ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ)

© 2004 г. А. В. Лаломов, С. Э. Таболич*

*Научно-исследовательская лаборатория фирмы “АРКТУР”
109125 Москва, Волгоградский проспект, 69, E-mail: a_lalomov@mtu-net.ru
ООО “ПФК ЮНИВЕРС”

*117292 Москва, ул. Ивана Бабушкина, 23 корп. 2;
E-mail: tabolich@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.10.2003 г.

Данное исследование является попыткой определения реального времени формирования прибрежно-морских россыпей, основанной на моделировании процессов россыпеобразования, современных скоростях литодинамических процессов и современных параметрах россыпеобразующих источников. Полученный результат показывает, что реальное время образования исследованной Валькумейской россыпи олова (Чаунская губа Восточно-Сибирского моря) значительно отличается от ее стратиграфического возраста. Анализируются возможные причины такого несоответствия.

В течение периода 1982–1991 гг., работая в Чаунской экспедиции ПГО “Севвостгеология”, авторы изучали геохимические особенности и литологический состав аллювиальных и прибрежно-морских россыпей Центральной Чукотки. Занимаясь моделированием процессов осадкообразования с целью локального прогнозирования параметров россыпей, в то время авторы не исследовали проблему интенсивности геологических процессов, поскольку эти вопросы не входили в сферу производственной геологии. Попытка определения времени образования Валькумейской прибрежно-морской россыпи олова с использованием в расчетах современных скоростей седиментационных процессов и содержаний полезного компонента в коренных источниках показала, что время, необходимое для формирования россыпи, значительно меньше ее стратиграфического возраста. Поскольку в основных чертах существующие в настоящее время литодинамические условия формирования россыпи заложились в плиоцене, имеющиеся данные позволили сравнить реальное и геохронологическое время россыпеобразования.

Геологическая структура, геоморфология, гидро- и литодинамика, а также строение осадочно-чехла валькумейской россыпи олова подробно рассмотрены в ряде предыдущих исследований [Патык-Кара, Иванова, 2003; Лаломов, 2003б]. В данной работе приводятся лишь краткие сведения, непосредственно необходимые для расчета времени россыпеобразования.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЛИТОДИНАМИКА УЧАСТКА ВАЛЬКУМЕЙСКИЙ

Валькумейская прибрежно-морская россыпь олова расположена на границе зоны устойчивых отрицательных неотектонических движений – Чаунской впадины и блокового поднятия Валькумейского гранитоидного массива. Считается, что заложение впадины и начало дифференцированных тектонических движений произошли в миоцене [Патык-Кара и др., 1980]. Источником материка россыпи являются зоны жильного оруденения и участки рассеянной минерализации касситерит-силикатной рудной формации, приуроченные к Валькумейскому массиву. Выходы коренных источников олова наблюдаются как непосредственно в абрадируемом клиффе, так и на примыкающей к береговой зоне территории [Лугов, 1965]. Оловоносными являются также поступающие в зону пляжа делювиально-пролювиальные образования. Непосредственным источником олова для современной прибрежно-морской россыпи является зона, примыкающая к пляжу в начале устойчивого вдольберегового потока наносов (ВПН) к северу от мыса Валькумей.

На исследованном участке акватории Чаунской губы ВПН направлен на север и начинается от крайней точки мыса Валькумей. В пределах основной части россыпи около мыса поток наносов наносами, береговой клифф активно размывается (зона абразии). Далее на север берег становится более устойчивым (зона транзита наносов). В северной части россыпи происходит насыщение потока, наблюдается нарастание пляжа

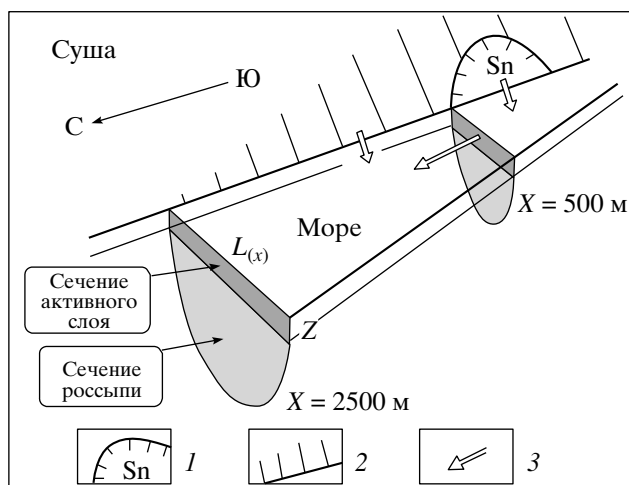


Рис. Блок-диаграмма, иллюстрирующая методику расчета реального времени образования россыпи.

Z – толщина слоя активного перемещения осадков под действием волн и течений; $L(x)$ – ширина активной зоны в сечении X ; X – расстояние от начала вдольберегового потока наносов.

1 – источник россыпеобразующего компонента; 2 – зона абразии; 3 – направление переноса обломочного материала.

и отложение наносов (зона аккумуляции). Зона активного перемещения наносов, сложенная галечниками, песками и алевритами, расширяется от 100–200 м в зоне абразии до 600 м в зоне аккумуляции. За пределами активной зоны донные осадки сложены черными, насыщенными органикой алевропелитовыми илами.

Определенные выводы о литодинамических условиях, существовавших на акватории Чаунской губы в прошлом, были сделаны на основании изучения геоморфологии побережья и данных бурения. Наличие в северной части россыпи аккумулятивной косы длиной около 4 км говорит о стабильности ВПН на протяжении длительного времени. Галечные отложения косы прослеживаются буровыми скважинами вплоть до верхней границы плиоценовых отложений, что говорит о заложении устойчивого однонаправленного ВПН на акватории Чаунской губы как минимум уже с начала плейстоцена. Крупность галечного материала и другие литологические особенности мало меняются в разрезе всей плейстоцен-голоценовой толщи, на основании чего можно сделать вывод о том, что как общая (качественная) картина, так и интенсивность литодинамических процессов в основном не менялись в течение всего периода формирования четвертичной и современной прибрежно-морской россыпи. Результаты геохимического исследования Валькумейской россыпи также “свидетельствуют об унаследованности литодинамической обстановки на протяжении формирования россыпи” [Патык-

Кара, Иванова, 2003, с.273]. Исключение составляет период верхнеплейстоценовой регрессии, когда на данной территории наблюдалось образование едомного комплекса.

На участке однонаправленного ВПН оловоносный шлейф протягивается от коренного источника в направлении господствующего здесь потока наносов. При этом происходит расширение поля оловоносных осадков в соответствии с параметрами гидродинамически активной зоны, внешняя мористая граница которой совпадает с границей распространения алевритовых илов.

В Строении россыпи олова в районе мыса валькумей выделяются два основных структурно-генетических яруса. Нижняя, более древняя часть россыпи связана в основном с делювиально-пролювиальными и аллювиальными миоценовыми отложениями. Второй (верхний) ярус представлен преимущественно прибрежно-морскими отложениями плиоцен-голоценового возраста. Для увеличения достоверности расчет времени образования был сделан только для собственно прибрежно-морской россыпи верхнего яруса, поскольку для россыпи нижнего яруса применение количественных современных данных по литодинамике и параметрам коренных источников является менее обоснованным.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ РОССЫПИ

Время, необходимое для образования прибрежно-морской части Валькумейской россыпи, было оценено с использованием упрощенной модели осадконакопления, принимающей допущение о приблизительном сходстве современных геологических условий и условий, существовавших в прошлом на всем возрастном интервале времени формирования прибрежно-морской россыпи, начиная с плиоцена.

“Ниже” по вдольбереговому потоку от источника поступление россыпеобразующего компонента происходило за счет ВПН через сечение активного слоя осадков $L(x) \cdot Z$ (рисунок) с постоянной интенсивностью, соответствующей сегодняшней, где L – ширина активной зоны перемещения осадков в ВПН; Z – мощность активного слоя, которая по разным оценкам не превышает 1–1.5 м; X – расстояние от начала ВПН. Чтобы вычислить время, прошедшее от начала процесса формирования россыпи, необходимо оценить:

1. Количество олова $q(x)$ (т/год), проходящего в активном слое россыпи через произвольное сечение X :

$$q(x) = L(x) \cdot Z \cdot C_{(x)cp} \cdot v_{(x)} = V_{(x)} \cdot C_{(x)cp} \quad (1)$$

где $C_{(x)cp}$ (т/м³) – среднее содержание олова в активном слое осадков в поперечном сечении ВПН $L_{(x)} \cdot Z \cdot 1$ м в точке X ;

$V_{(x)}$ (м/год) – средняя в данном сечении скорость потока наносов;

$V_{(x)}$ (м³/год) – объем обломочного оловосодержащего материала, проходящего через поперечное сечение ВПН в точке X .

2. Полное количество олова в россыпи, поступившего “вниз” по вдольбереговому потоку от исследуемого сечения, равно $Q_{(x)}$ (тонн).

Зная величины этих параметров, время $T_{(x)}$, прошедшее с момента начала формирования участка россыпи, расположенного “ниже” по потоку наносов от сечения X , можно вычислить по формуле:

$$T_{(x)} = Q_{(x)} / q_{(x)} \quad (2)$$

Для определения величины $q_{(x)}$ произведем оценку некоторых динамических характеристик ВПН, режима и объемов поступления в ВПН обломочного материала и олова.

Для Валькумейской россыпи объем обломочного материала, поступающего в ВПН за год, был рассчитан несколькими способами:

1. По полевым исследованиям, согласно которым объем абрадируемых склоновых отложений оценивается в 3 тыс. м³. Весь этот материал ежегодно поступает во вдольбереговую перенос.

2. Тот же самый объем может быть рассчитан косвенным способом. Площадь денудированной поверхности, поставляющей обломочный материал на исследуемый участок, равна 3 млн. м². Средняя интенсивность денудации в данных условиях оценивается приблизительно в 1 мм в год [Шумилов, 1980], так что объем материала, поступающего в ВПН, можно оценить в 3 тыс. м³.

3. Наблюдения за переносом галечного материала показали, что в периоды волнений северных румбов (направления волнения с юга на север) объем перемещающегося в зоне пляжа грубообломочного материала через поперечное сечение активной зоны на участке транзита наносов может достигать 150 м³/сут [Лаломов, 1986]. С учетом материала, перемещающегося в пределах подводного берегового склона, эта величина может быть удвоена: берег в районе россыпи характеризуется как приглубый, забурунивания в районе подводных валов, как правило, не происходит, и основное выделение волновой энергии (а, значит, и перенос материала) осуществляется в зоне пляжа. В силу этого, удвоение общей мощности потока по отношению к пляжу представляется нам вполне надежной (с запасом) оценкой. Учитывая, что преобладание южных ветров (и, соответственно, волнений) над северными за навигационный период составляет 7–10 дней, объем ВПН можно оценить приблизительно в 2–3 тыс. м³/год. По-

скольку при поступлении в ВПН глинистая составляющая рыхлых склоновых отложений, достигающая 30–40%, практически сразу же переходит во взвесь и покидает зону ВПН, то объем поступающего в прибрежную зону материала также может быть оценен в 3–5 тыс. м³/год.

Оценка примерно этого же порядка (около 4.3 тыс. м³/год) получается при использовании данных В.А. Кошелевой и Д.С. Яншина [1999] по абразии берегов, сложенных коренными породами в пределах Восточно-Сибирского моря.

Для целей настоящей работы объем материала, поступающего в ВПН суммарно на всем абрадируемом участке, принят 3 тыс. м³/год. Этот материал поступает не сразу в районе начала россыпи, а постепенно, на протяжении всей зоны абразии, которая протягивается от начала ВПН – от точки $X = 0$ до профиля в точке $X_A = 2500$ м (приблизительно). Далее по потоку абразия сменяется транзитом и аккумуляцией, т.е. материал в ВПН уже не поступает [Лаломов, 1986]. При этом интенсивность абразии (и, соответственно, скорости поступления материала в поток со склона $U_{(x)}$) монотонно убывает от максимального значения в точке $X = 0$ до 0 в точке $X_A = 2500$ м.

Суммарное количество обломочного материала $SumU_{(x)}$, поступившего в ВПН на абрадируемом участке “выше” по вдольбереговому потоку от произвольной точки X , является интегральной функцией $U_{(x)}$:

$$SumU_{(x)} = \int_{x=0}^x U_{(x)} dx \quad (3)$$

В первом приближении можно было бы обойтись линейной аппроксимацией $SumU_{(x)}$, но для более точного расчета примем, что скорость уменьшения $U_{(x)}$ максимальна в зоне интенсивной абразии в начале потока и уменьшается по мере насыщения потока наносами. Соответственно, величина $V_{(x)}$ (объем обломочного материала, проходящего через поперечное сечение ВПН в точке на расстоянии X от начала ВПН) интенсивно нарастает в начале и постепенно в зоне насыщения потока, причем в точке $X = 0$ значение $U_{(x)}$ максимально, $SumU_{(x)} = 0$ и, следовательно, $V_{(x)} = 0$; в точке $X_A = 2500$ м $U_{(x)} = 0$, $SumU_{(x)}$ максимально, $V_{(x)}$ пропорционально всему объему обломочного материала, поступившему на участке абразии “выше” по вдольбереговому потоку от точки X , с коэффициентом k , учитывающим вынос тонких глинистых фракций из зоны россыпи:

$$V_{(Xa)} = k \int_{x=0}^{Xa} U_{(Xa)} dx = k SumU_{(Xa)} \quad (4)$$

При этом считаем, что вынос тонких фракций происходит практически одновременно с поступ-

Расчет времени образования россыпи

X (м)	$V_{(x)}$ (м ³ /год)	$Q_{(x)}$ (тонн)	$C_{(x)cp}$ (г/м ³)		$T_{(x)}$ (лет)	
			измеренное	рассчитанное по модели	измеренное	рассчитанное по модели
500	648	7000	5066	2854	2132	3785
2500	1800	2400	455	427	2930	3123

Примечание. Анализ относительной погрешности сделанного расчета показывает, что вследствие некоторой неопределенности вводимых в расчет данных, суммарная относительная погрешность может достигать 80–100%. Это говорит о том, что приведенные в таблице значения $T_{(x)}$ с точностью до года являются **средними** значениями с большой относительной погрешностью. Достоверно можно говорить лишь о **порядке** полученной величины.

лением материала в ВПН и непосредственно в точке поступления; k считаем постоянным на всем абрадируемом участке. Исходя из того, что вынос тонких глинистых фракций из зоны россыпи составляет приблизительно 40% поступающего обломочного материала, k принимаем равным 0.6.

Аппроксимируем $\text{Sum}U_{(x)}$ квадратичной функцией. Применительно к данному случаю уравнение принимает вид:

$$\text{Sum}U_{(x)} = \text{Sum}U_{(X_A)} - K(X_A - X)^2 \quad (5)$$

где K – постоянный коэффициент, зависящий от динамики ВПН и интенсивности эрозии (абразии) склонов. При этом $\text{Sum}U_{(X_A)} = 3$ тыс. м³/год, $X_A = 2500$ м

Величину K рассчитываем в точке $X = 0$, $\text{Sum}U_{(0)} = 0$

$$K = 4.8 \times 10^{-4} \text{ (м/год)}$$

$$\text{Sum}U_{(x)} = 3000 \text{ м}^3/\text{год} - 4.8 \times 10^{-4} (2500 \text{ м} - X)^2 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} V_{(x)} &= k \text{Sum}U_{(x)} = \\ &= 0.6 (3000 - 4.8 \times 10^{-4} (2500 \text{ м} - X)^2) \end{aligned} \quad (7)$$

Другую необходимую для расчета $q_{(x)}$ величину $C_{(x)cp}$ можно получить как по фактическим данным опробования донных отложений на полную мощность активного слоя наносов, так и по данным математического моделирования содержания олова при переносе в ВПН. Первоначально пригодная для этой цели математическая модель была разработана для локального прогнозирования параметров россыпи в геологоразведочных целях. Впоследствии, когда была доказана адекватность модели реальному геологическому объекту [Лаломов, Таболич, 1994], она была также использована для расчета времени образования россыпи.

Таким образом, используя известные по данным геологической разведки значения $Q_{(x)}$ и рассчитанные значения $q_{(x)}$, можно определить реальное время образования $T_{(x)}$ части россыпи, расположенной “ниже” по вдольбереговому потоку от любого исследованного сечения.

В настоящей статье приведено время образования россыпи, рассчитанное для двух узловых точек: в “нижней” по потоку точке поступления оловоносного материала ($X = 500$ м) и в зоне насыщения ВПН (зона смены режима абразии на режим транзита наносов, $X = 2500$ м).

Необходимо отметить, что определение возраста с использованием величины $C_{(x)cp}$, рассчитанной с применением упомянутой математической модели, имеет более высокую степень надежности, так как данная методика расчета позволяет устранить ошибки, вызванные:

- 1) дискретностью опробования донных отложений;
- 2) погрешностью определения содержания олова, связанной с небольшим объемом образцов при неоднородности распределения олова в донных отложениях;
- 3) лабораторной (аналитической) погрешностью.

Таким образом, определение времени образования россыпи по данным моделирования является наиболее предпочтительным, поскольку позволяет устранить ошибки, вызываемые использованием непосредственных фактических данных.

Результаты расчета времени образования россыпи $T_{(x)}$ по фактическим данным и данным моделирования представлены в Таблице.

По результатам проведенных исследований можно утверждать с большой степенью уверенности, что реальное время образования валькумейской прибрежно-морской россыпи оценивается приблизительно в 2–4 тыс. лет, что составляет примерно 0.04–0.07% от стратиграфического возраста нижних горизонтов россыпемещающих отложений плиоцена, равного 5.3 млн лет, согласно общепринятой геохронологической шкале.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Один из возможных спорных моментов в определении реального возраста по уравнению (9) связан с тем, что данный способ дает нам не точный возраст отложений, а только время, необходимое

для формирования россыпи при сегодняшних скоростях геологических процессов. Теоретически можно допустить, что за вычетом короткого и интенсивного периода россыпеобразования, все оставшееся время россыпь находилась в состоянии стагнации, то есть отсутствовали любые процессы приноса и выноса компонентов. Однако детальное изучение геологического разреза показало отсутствие фактических данных, указывающих на правомерность такого предположения. Осадконакопление в арктическом регионе с начала плиоцена существенно не отличалось от современного за исключением периода четвертичного оледенения, которое происходило по геологическим меркам совсем недавно и продолжалось относительно недолго: общая продолжительность четвертичных оледенений охватывает период с 600 до 20 тыс. лет [Геологический ..., 1960]. С этим периодом связана единственная граница локального размыва в разрезе плиоцен-четвертичной россыпи [Патык-Кара, Иванова, 2003, рис. 71]. Как данные конкретного литологического разреза россыпи, так и данные глобального изучения изменения седиментационных процессов в прошлом указывают на то, что интенсивность этих процессов мало менялась со временем [Романовский, 1988]. Литодинамический режим берегов во времени при сохранении общего контура моря, как правило, меняется незначительно и почти не зависит от климатических факторов [Зенкович, 1962], что подтверждается непосредственными исследованиями строения Валькумейской россыпи [Патык-Кара, Иванова, 2003].

Вторым важным источником расхождения рассчитанного и стратиграфического возраста является возможность выноса касситерита из зоны россыпи. В результате величина $Q_{(x)}$ значительно занижается, что приводит к пропорциональному уменьшению $T_{(x)}$. В то же время, о несущественном влиянии этого процесса на определение времени образования россыпи свидетельствует то, что в целом контур современной россыпи на уровне, превышающем значения локального фона, совпадает с границей зоны активной литодинамики наносов (т.е. границей между алевритами и насыщенными органикой черными алевропелитовыми илами). Детальными геологоразведочными работами фланги россыпи (как мористый, так и расположенный по направлению ВПН) были уверенно оконтурены. Валовый анализ проб по рудной схеме (без предварительной промывки и выделения гравитационно обогатимой фракции) с использованием химического анализа позволил определить полное содержание олова в отложениях независимо от класса крупности касситерита. Это опробование показало, что суммарное количество олова за пределами литодинамически активной зоны в пределах илов не превышает 2 % от общих его запасов в россыпи.

Таким образом, имеющиеся данные свидетельствуют о достаточно полном осаждении всех фракций касситерита в пределах указанного контура. К тому же, в силу пониженной гидродинамической активности в акватории Чаунской губы, весь материал, поступающий в ее пределы (и, в первую очередь, тяжелые фракции отложений) осаждается в непосредственной близости от источника поступления.

Также маловероятно значительное изменение параметров коренного источника касситерита, участвующего в образовании россыпи. По сравнению с общим вертикальным диапазоном оруденения (более 200 м) уровень эрозионного среза рудных зон Валькумейского массива, участвовавших в образовании исследуемой (прибрежно-морской) части россыпи, не превышает 10%. Следовательно, мы вправе предположить, что параметры выходящих на дневную поверхность коренных источников касситерита за время формирования участвующей в подсчете возраста части россыпи изменились незначительно, и эта величина несущественно влияет на результаты расчета.

Из-за ряда введенных допущений точность определения продолжительности образования россыпи может оспариваться. Сама точность подсчета запасов, по которым определяется время образования россыпи, не превышает 20–30% [Методическое ..., 1982], что соответственно определяет и точность датирования. Принятые допущения могли повлиять на конечный результат, но существенно то, что в любом случае полученная продолжительность формирования россыпи на несколько порядков отличается от общепринятого возраста геологических границ кайнозоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, маловероятно, что расхождение реального времени образования и стратиграфического возраста Валькумейской россыпи является результатом неправомерности прямой экстраполяции современных данных в прошлое или чрезмерного упрощения модели [Лаломов, 2003а].

Различие понятий “скорость седиментации” и “скорость накопления осадков” обсуждается в настоящее время в геологической литературе достаточно широко [Байков, Седлецкий, 2001]. Как правило, это различие связано с инъективным седиментогенезом, когда короткие периоды реального осадконакопления чередуются с длительными периодами отсутствия седиментации. Подобные условия седиментации, наиболее характерные для процессов образования турбидитов, встречаются и в прибрежных частях бассейнов: так в области шельфа, примыкающего к устью р. Янцзы, скорости седиментации и аккумуляции различа-

ются в 10 раз [Романовский, 1988], то есть время скрытых перерывов накопления осадков в 10 раз превышает время реальной седиментации. Как указывал С.В. Мейен [1989, с. 24], “Из-за широкого развития скрытых перерывов... в условиях мелководья нередко документируется лишь ничтожная доля общего времени седиментации (0.01–0.001%)”.

В статье Л.Л. Кулямина и Л.С. Смирнова [1973] на основании анализа приливно-отливных циклов указывается, что для кембро-ордовикских песчаников Прибалтики “чистое” время седиментации оценивается приблизительно в 170 палеосуток (133 для саблинских песчаников среднего-верхнего кембрия и 40 для пакерортских нижнего ордовика). “Полученные цифры шокируют”, как пишут сами авторы [Кулямин, Смирнов, 1973, с. 699]. Такие результаты они объясняют ничтожной сохранностью осадков в подобных разрезах по отношению к стратиграфическому объему времени.

Исследование аналогичных отложений Ленинградской области также показало, что “чистое время накопления нижнепалеозойских песков можно оценить в 100–200 лет. Парадокс заключается в том, что геологическое время формирования саблинской толщи составляет 10–20 млн. лет” [Тугарова и др., 2001, с. 89]. Авторы объясняют это многократным переывом отложений в мелководных морских условиях с активной литодинамикой, где соседствуют и сменяют друг друга в зависимости от параметров штормов и течений процессы аккумуляции и размыва морского дна.

В настоящей работе оценка продолжительности образования Валькумейской россыпи была сделана на основе анализа современной скорости поступления касситерита в прибрежную зону и общего количества олова в россыпи. Есть все основания полагать, что интенсивность литодинамических процессов и содержание олова в источнике за период формирования прибрежно-морской части россыпи оставались (в первом приближении) постоянными. Также не обнаружено признаков значительного выноса мелких фракций касситерита из контура россыпи в литодинамически неактивную зону. Для реконструкции конкретных условий и понимания причин отсутствия эрозии примыкающей суши и (или) накопления осадков в пределах Валькумейской россыпи в прошлом, требуются дополнительные исследования.

Данная работа поднимает вопросы, ответы на которые предполагается получить в будущем. С этой целью авторы предлагают обсудить на страницах печати возможные причины несоответствия реального и стратиграфического возраста россыпей, в частности Валькумейской, а также влияние этого фактора на процесс россыпеобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Байков А.А., Седлецкий В.И. О сверхвысоких скоростях терригенной седиментации на континентальном блоке в фанерозое // Проблемы литологии, геохимии и осадочного рудогенеза. М.: Наука, 2001. С. 93–108.
- Геологический словарь. Т. 2. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 445 с.
- Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
- Кошелева В.А., Яншин Д.С. Донные осадки Арктических морей России. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. 135 с.
- Кулямин Л.Л., Смирнов Л.С. Приливно-отливные циклы осадконакопления в кембро-ордовикских песках Прибалтики // Докл. АН СССР. Сер. геол. 1973. Т. 212. № 1–3. С. 696–699.
- Лаломов А.В. Комплексное изучение участка побережья методом меченых частиц // Колыма. 1986. № 8. С. 31–33.
- Лаломов А.В. Скорость осадконакопления и актуальное время седиментации // Материалы третьего Всероссийского литологического совещания. М.: Изд-во МГУ, 2003а. С. 111–113.
- Лаломов А.В. Дифференциация тяжелых минералов во вдольбереговом потоке наносов и моделирование процессов прибрежно-морского россыпеобразования // Литология и полез. ископаемые. 2003б. № 4. С. 361 – 369.
- Лаломов А.В., Таболич С.Э. Диффузионно-конвективная модель прибрежно-морского россыпеобразования при наличии вдольберегового потока наносов // Минералогия Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. С. 171–177.
- Лугов С.Ф. Геологические особенности олововольфрамового оруденения Чукотки и вопросы поисков. Л.: Недра, 1965. 336 с.
- Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 212 с.
- Методическое руководство по разведке россыпей золота и олова / Под ред. Цопанова О.Х. Магадан: Севостгеология, 1982. 218 с.
- Патык-Кара Н.Г., Морозова Л.Н., Бирюков В.Ю., Новиков В.Н. Новые данные по структурно-геоморфологическому строению приморских равнин и шельфа Восточно-Арктических морей // Геоморфология. 1980. № 3. С. 9–98.
- Патык-Кара Н.Г., Иванова А.М. Геохимические поиски месторождений твердых полезных ископаемых на континентальном шельфе. М.: Научный мир, 2003. 415 с.
- Романовский С.И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.
- Тугарова М.А., Платонов М.В., Сергеева Э.И. Литодинамическая характеристика терригенной седиментации кембро-нижеордовикской толщи Ленинградской области // Историческая геология и эволюционная география, СПб.: Изд-во НОУ Амадеус, 2001. С. 81–91.
- Шумилов Ю.Н. К вопросу о количественной оценке процессов россыпеобразования // Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1980. С. 125–132.