

УДК 551.332:550.4(571.151–25)

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕНТОЧНЫХ ГЛИН ГОРНОГО АЛТАЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

**Рихванов Леонид Петрович,**

д-р геол.-минерал. наук, профессор каф. геоэкологии и геохимии ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
E-mail: rikhvanov@tpu.ru

**Окишев Петр Андреевич,**

д-р геогр. наук, профессор, заведующий каф. краеведения и туризма ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.  
E-mail: tourism2011@vtomske.ru

**Соболева Надежда Петровна,**

канд. геогр. наук, доцент каф. геоэкологии и геохимии ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
E-mail: sobnadi@yandex.ru

**Матаев Ельнар Исланович,**

студент каф. геоэкологии и геохимии ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: mataevelnar@mail.ru

**Актуальность работы** обусловлена слабой изученностью ленточных глин приледниковых озер Горного Алтая с геохимической точки зрения и возможностью применения полученных данных для реконструкции динамики гляциальной деятельности на рассматриваемой территории.

**Цель работы.** Оценка содержания 25 химических элементов, в том числе редких, редкоземельных и радиоактивных; анализ характера распределения их по разрезу ленточных глин и сопоставление цикличности накопления элементов с вероятными источниками поступления в разрез продуктов разрушения горных пород прилегающими ледниками.

**Методы исследования:** гамма-спектрометрический метод; метод инструментального нейтронно-активационного анализа; анализа матрицы множественной корреляции Ward's методом; анализ статистических параметров; сравнительно-географический метод.

**Результаты.** Для ленточных глин разреза Чаган-Узун получены параметры распределения 25 химических элементов, определенных методом инструментального нейтронно-активационного анализа, отражающие характер и особенности их накопления в вертикальном профиле ленточных глин, сформированных в древнем приледниковом озере. Установлена общая тенденция поведения химических элементов в процессе формирования ленточных глин, выделены циклы накопления U, Th, редких земель и их отношений, выявлены геохимические ассоциации элементов в разрезе. Значительную роль в формировании геохимических особенностей ленточных глин Алтая играла динамика ледниковой деятельности и режим формировавшейся при этом лимносистемы. Геохимическое исследование осадков, образующихся флювиогляциальных комплексов может быть использовано в качестве одного из вспомогательных критериев при их изучении, а также для реконструкции гляциальных обстановок прошлого.

### **Ключевые слова:**

Ленточные глины, Горный Алтай, ледники, гляциологические реконструкции, геохимические особенности, радионуклиды, редкоземельные элементы.

### **Постановка проблемы**

Ленточные глины относятся к специфическим геологическим образованиям, формирующимся в районах развития ледников. Ленточные глины (на английском varved clays) – отложения приледниковых озёр, состоящие из чередующихся тонких слоев тонкозернистого песка и глины – продуктов осаждения ледниковой мути. Слоистость обусловлена неравномерным привносом обломочного материала в разные сезоны года (песчанистые – летом, глинистые – зимой). Пески и глины постепенно переходят друг

друга и образуют годовые слои, называемые лентами, мощностью от долей миллиметра до нескольких сантиметров; толщина лент обусловлена изменениями погоды и интенсивности таяния ледника. Путём подсчёта этих лент можно определить продолжительность времени образования всей толщи глин. При сопоставлении разрезов ленточных глин, расположенных в различных местах, с краевыми ледниковыми образованиями можно установить возраст отдельных фаз сокращения (таяния) ледникового покрова и скорость отступления края ледника [1].

Ленточные глины распространены в районах активной ледниковой деятельности, на северо-западе и севере Европейской части России, в Скандинавии, на севере Польши, в Германии, на территории Прибалтийских стран, США и Канаде [2–6].

Ленточные глины привлекли к себе внимание ученых более сотни лет назад. Так, шведский ученый Де Геер в XIX в. предложил геохронологический метод – варвохронология [7], метод оценки абсолютного возраста ритмично слоистых ленточных отложений приледниковых озер («варв» от шведского), основанный на подсчёте образующихся пар слоёв (летнего алевритового и зимнего глинистого), позволяющий довольно точно изучить картину отступления последнего ледника, а также исчислить время этого отступления по его отдельным последовательным фазам. Применяя такого рода подсчеты вместе с некоторыми другими приемами, Де Геер и его последователи установили, что со времени начала отступления ледника от южной окраины Скандинавии и до нашего времени (до 1900 г.) прошло около 14000–15000 лет [7].

Рассмотрение ленточных глин проводится в основном с позиции изучения их возраста, литологии, палеонтологии, ископаемых остатков [8–11]. Один из основателей геохимии В. Гольдшмидт предложил использовать ленточные глины для оценки среднего содержания химических элементов на той или иной части континентальной суши, охваченной ледниковой деятельностью. Основанием для этого послужил тот факт, что данные слоистые образования представляют собой отложения тонко диспергированной массы горных пород, которые разрушались ледником, в своём составе отражают весь геохимический спектр пород, принимающих участие в геологическом строении района деятельности ледника. Таким образом, был предложен весьма оригинальный способ определения регионального Кларка земной коры. Полученные В. Гольдшмидтом экспериментальные данные по территории Норвегии подтвердили выдвинутое предположение [12].

Другая попытка использования данных геохимических особенностей ленточных глин для решения вопросов гляциологии, за исключением работы В.В. Бутвиловского [14], в литературе не встречается. Поэтому видится весьма актуальным изучение ленточных глин Горного Алтая, где они имеют достаточно широкое распространение [9–11, 15].

Какой-либо другой информации об использовании геохимических особенностей ленточных глин для решения вопросов гляциологии, за исключением работы В.В. Бутвиловского [14], в литературе не встречается. Поэтому видится весьма актуальным изучение ленточных глин Горного Алтая, где они имеют достаточно широкое распространение [9–11, 15].

## Объекты и методы

Несмотря на удовлетворительную геологическую обнаженность Горного Алтая и множество естественных разрезов кайнозойских отложений, изучение их весьма затруднительно. Наиболее известные разрезы, содержащие в своем строении ленточные глины, располагаются в межгорных впадинах, особенно в естественных обнажениях в долинах рек Чаган и Чаган-Узун (рис. 1).

Ленточные глины Горного Алтая встречаются на разных стратиграфических уровнях. По данным определения абсолютного возраста глин, наиболее древние из них (разрез Чаган) характеризуются возрастом 150–260 тыс. лет. Аналогичные образования в районе п. Бельтир (Чаган-Узунский разрез) характеризуются возрастом в 25–32 тыс. лет. Самый молодой возраст имеют ленточные глины Ининского разреза, для которого эти показатели составляют 10–15 тыс. лет [15].

Следует отметить, что у современных исследователей ленточных глин Горного Алтая [14, 16] нет единства во взглядах как геологического возраста и скорости осадконакопления, так и разделения «лент» на летние и зимние, а также на причины их формирования.

Ленточные осадки формировались в ингрессионном долинном Чаган-Узунском заливе Чуйского ледниково-подпрудного озера за счёт осаднения обломочного материала из талых ледниковых вод. Оледенение бассейна Чаган-Узуна охватывало 30-километровый участок северного макросклона Южно-Чуйского хребта и значительную часть восточного макросклона Северо-Чуйского хребта. В позднеплейстоценовый максимум площадь сложного Чаган-Узунского ледника превышала 4000 км<sup>2</sup>. Здесь сливались ледники, занимавшие долины Кара-Оюка, Аккола, Талдуры, Джелло и Кыскынора. В верховье этих долин и в настоящее время ледниками занято более 125 км<sup>2</sup> (рис. 2).

Современное оледенение бассейна Чаган-Узуна представлено 82 ледниками разного морфологического типа и разных размеров. Самым крупным по площади не только здесь, но и на Русском Алтае в целом, является Бол. Талдуриный ледник (площадь более 28 км<sup>2</sup>) в истоках р. Талдуры. В соседней долине р. Аккола лежит Софийский ледник (площадь более 17 км<sup>2</sup>). Кроме них в бассейне Чаган-Узуна 6 ледников имеют площадь от 3 до 8 км<sup>2</sup>. Все они связаны с наиболее высокими вершинами (более 3500 м). Высота окончаний языков ледников весьма не одинакова (от 2450 до 3300 м), хотя граница питания (фирновая линия) изменяется только в пределах от 3000 до 3200 м. Это свидетельствует о неодинаковых орографических условиях питания ледников и неодинаковых условиях их динамики при общих изменениях снеговой границы в бассейне.

Низко спускающиеся ледники первыми оккупировали главные долины, а все другие присоединялись к этим основным ледниковым потокам по мере выхода из своих боковых долин. По такой же

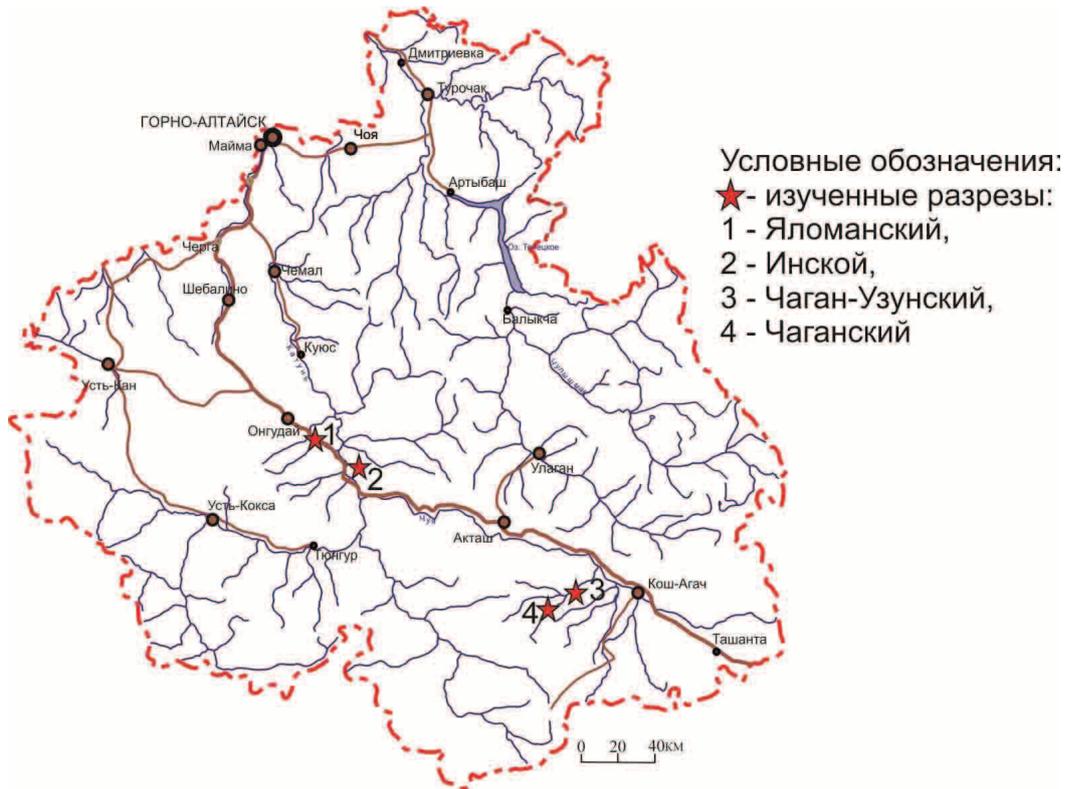


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов на территории Горного Алтая

Fig. 1. Plan of the studied section in Gorny Altai



Рис. 2. Схема расположения ледников в бассейнах рек Елангаш, Кара-Оюк, Талдура [17]: 1 – ледники; 2 – водоразделы; 3 – реки; 4 – вершины и их высоты; 5 – местоположение разреза Чаган-Узун

Fig. 2. Plan of glaciers in basins of the rivers Elangash, Kara-Oyuk, Taldura [17]: 1 – glaciers; 2 – water partings; 3 – rivers; 4 – peaks and their heights; 5 – Chang-Uzun section location

схеме увеличивалась и длина ледников. Об этом весьма убедительно свидетельствует удалённость конечных морен последней стадияльной подвижки от концов современных ледников. Например, у ледника Софийского в долине р. Аккола фронт морены XVII–XIX вв. отстоит от конца ледника почти на 3 км, а у ближайшего бокового ледника Удачного – только на 1,5 км. В долине Талдуры фронт морены XVII–XIX вв. отстоит от конца Бол. Талдурина ледника на 2,9 км, а у ближайшего к нему ледника Некрасова в правобережной боковой долине – на 1,6 км.

Все ледники производят эрозионную работу на дне долин и транспортируют продукты эрозии и склоновых процессов к концу ледникового языка. Здесь моренный материал, представляющий собой смесь обломков разных размеров, становится объектом перемыва и насыщения талых ледниковых вод наиболее тонкой фракцией (алевриты, пелиты). Во взвешенном состоянии этот материал переносится на большие расстояния и отлагается в непроточных или слабопроточных водоёмах, формируя ленточно-слоистые осадки, предмет нашего исследования.

Как отмечают И.Д. Зольников и А.А. Мистрюков [16], Чаган-Узунский геологический разрез отражает историю деградации горно-долинного ледника Чаган-Узун в позднем неоплейстоцене по модели последовательного формирования серии цунговых озерных бассейнов между стадияльными конечно-моренными комплексами и краем тающего ледника.

Первоначально нами были обследованы разрезы ленточных глин Алтая с помощью серийно выпускаемого полевого гамма-спектрометра РКП-305 «Карат», позволяющего определять на месте залегания пород содержание U (по Ra), Th на уровне содержания 1 г/т и K на уровне детектирования 0,1 %, что ниже Кларка содержания этих элементов в земной коре, соответственно: 2,8; 10,7. Следует отметить, что данный полевой метод определения радионуклидов, как показывают наши исследования, обладает удовлетворительными метрологическими параметрами [18].

Полученные при этом оценочные средние содержания изученных радиоактивных элементов в ленточных глинах Алтая приведены в табл. 1. Анализ этих данных показал, что истираемый ледниками материал, формирующий ленточные глины, имеет резко отличные характеристики по содержанию радиоактивных элементов.

Эти данные могут свидетельствовать о том, что области разрушения горных пород в процессе движения ледника были сложены породами разного геохимического состава. Высокие значения торий-уранового отношения (Th/U) говорят о том, что в регионе имеются или имелись породы такого состава и возраста, как, например, глубокометаморфизованные докембрийские образования Алтае-Саянской области [18]. На современной геологической карте Горного Алтая геологические образова-

ния с подобными радиогеохимическими характеристиками отсутствуют [19]. Следует предположить, что либо они находятся под толщами ледников и перекрыты моренными отложениями, либо полностью денудированы в процессе ледниковой деятельности.

**Таблица 1.** Содержание тория, урана (г/т) и их отношение в ленточных глинах Горного Алтая и в террасовых комплексах р. Катунь по данным полевой гамма-спектрометрии

**Table 1.** Thorium and uranium content (g/t) and their ratio in varved clays in Gorny Altai and in bench complexes of the river Katun according to the data of field gamma-spectrometry

Разрез/Section	Th	U	Th/U
Инской/Inskoy	18,3	1,8	10
Чаган-Узунский/Chagan-Uzun	10,2	2,9	3,5
Чаганский/Chagan	18	2,2	8,2
Яломанский/Yalomansky	10,1	2,4	4,2

Интересно отметить, что современные аллювиальные отложения реки Катунь (разрез в районе р. Яломан) принципиально отличаются от ленточных глин. Радиогеохимические показатели этих террасовых комплексов (табл. 1) близки к составу верхней континентальной коры по С.Р. Тэйлору и др. [20]. Этим показателям соответствуют только радиогеохимические характеристики ленточных глин разреза Чаган-Узун, тогда как два других имеют весьма отличительные радиогеохимические признаки, соответствующие глубокометаморфизованным породам, которых нет на сегодняшней геологической карте, либо они соответствуют исходному материалу, известному в междуречье рек Аксай и Бураты под названием лейкократовых гранитов или порфиroidных гранитов главной фазы Мунгун-Тайгинского массива [18].

Более детальному, послойному изучению был подвергнут наиболее хорошо доступный и обнажённый Чаган-Узунский разрез ленточных глин ниже посёлка Бельтир (рис. 1). С палеогеографической точки зрения этот разрез подробно изучен и описан в отдельных работах [9–11, 14–16, 21].

Видимая мощность линзы ленточных глин данного разреза составляет 25 м, в пределах которой насчитывается до 2000 лент. Накопление линзы по данным абсолютного датирования относится к одной из начальных стадий деградации позднеплейстоценового оледенения. Так, абсолютные датировки углистых обломков из прослая ленточных алевритов с глубины 9,5 м составляют  $25,3 \pm 0,6$  тыс. лет, а алевритов из линзы озерно-ледниковых глин с глубины 10 м –  $32 \pm 4$  тыс. лет [15].

Для пород характерна тонкая слоистость из летних и зимних слоёв. В обнажении пары темного и светлого тонов имеют различную мощность, однако их изменение снизу вверх по разрезу происходит, как правило, постепенно, что свидетельствует о формировании этих пар в различные промежутки времени. Наиболее подходящими единицами вре-

мени, объединяющими два резко отличных периода седиментации, являются сутки (день–ночь) и год (лето–зима). Как правило, темный слой соответствует летнему сезону, а светлый – зимнему.

По опубликованным данным [15] минералогический состав разреза постоянен. Основные компоненты (%): ильменит (30,50), обломки пород (19,51), эпидот (19,40), гранат (10,40), в мелких количествах 1–2 % присутствуют ильменит окисленный, амфиболы (1,75), роговая обманка (1,60), биотит (1,01). Высокие содержания ильменита и обломков пород свидетельствуют о динамичных условиях среды переноса и осадконакопления и невысокой степени сортированности отложений.

По всему сечению доступной части разреза были отобраны бороздовые пробы шириной 10 и глубиной 5 см. Длина борозды варьировала и зависела от текстурных особенностей породы и наличия каких-либо маркирующих горизонтов, прежде всего горизонтов, обогащённых органическим веществом, выделяющихся тёмным цветом. В одну такую пробу попадало по десятку различных слоёв. Всего было отобрано 24 пробы, характеризующие весь обнажающийся разрез ленточных глин (рис. 3).

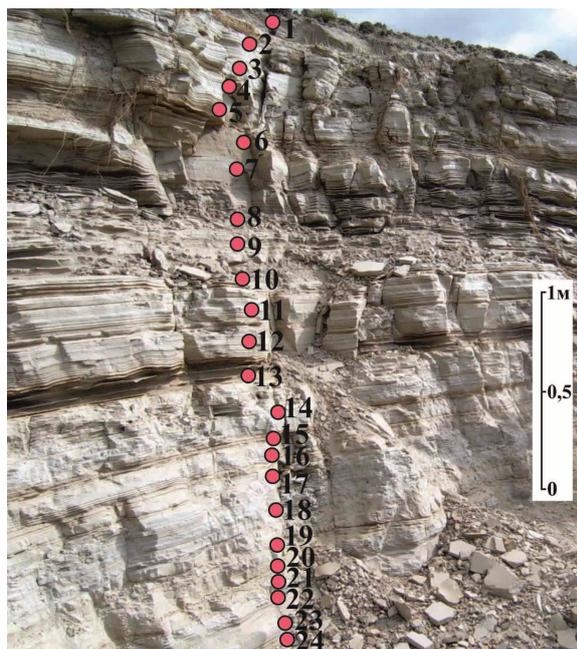


Рис. 3. Точки отprobования ленточных глин разреза Чаган-Узун

Fig. 3. Sample positions of varved clays of Chagan-Uzun section

Из всех проб, после процедур дробления, измельчения, истирания и последующего сокращения методом квартования, были отобраны навески весом около 300 мг, в которых методом инструментально-нейтронно-активационного анализа (ИНАА) было определено 25 химических элементов.

ИНАА представляет собой современный высокочувствительный, неструктивный анализ, являющийся одним из весьма эффективных методов определения редких, редкоземельных и радиоак-

тивных элементов, не требующий специфического химического разложения изучаемого материала. Облучение тепловыми нейтронами проводилось на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т Национального исследовательского Томского политехнического университета в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии (аналитики – ст. науч. сотр. А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Измерения производились на гамма-спектрометре фирмы «Canberra» с германий-литиевым детектором. Достоверность данного метода подтверждается результатами аттестации стандартных образцов состава, как отечественных, так и зарубежных (например, стандартный образец сравнения МАГАТЭ SD-M2/ТМ для донных осадков), и его качество является вполне удовлетворительным.

Таким образом, была получена геохимическая характеристика вскрытой части выхода ленточных глин Чаган-Узунского разреза в районе посёлка Бельтир (N 49°59'10" E 88°12'52") в целом и её отдельных частей в частности, что и обсуждается в данной статье.

#### Полученные результаты и их обсуждение

Статистические параметры распределения изученных химических элементов приведены в табл. 2.

Анализ этих данных показывает, что элементы изученной толщи характеризуются крайне равномерным характером распределения, исключение составляет распределение Та, имеющий сильно дифференцированный характер. Уровень накопления изученных элементов находится в тех же пределах, что и оцениваемое их содержание в верхней части континентальной коры по С.Р. Тэйлору и др. [20], но по таким элементам, как Cr и Sb они существенно более обогащены, в 7 и в 15 раз, соответственно, что, по-видимому, является специфической геохимической особенностью изучаемого геологического блока земной коры.

Среднее содержание U, Th и такой индикаторный показатель, как величина отношения Th к U (Th/U), оценённая по среднему содержанию в 24 пробах (2,8), достаточно близки к аналогичным показателям, оценённым по полевому измерению гамма-спектрометром, соответственно: 2,9; 10,2; 3,5. Если судить по этим радиогеохимическим показателям, то область разрушения ледником пород была сложена отложениями горноалтайской серии центральной части Холзунско-Чуйского антиклинория (показатели, соответственно: 1,8; 9,5; 5,3) или Барбургазинской свиты [22] или островодужными риолитовыми порфирами [23] девона Горного Алтая (рис. 4).

Однако индивидуальная характеристика отдельных частей изученного разреза свидетельствует о том, что источники поступления химических элементов были более разнообразны, чем, например, указанные выше образования, т. к. в пределах изученной толщи есть образования с иными радиогеохимическими показателями.

**Таблица 2.** Статистические параметры распределения химических элементов (мг/кг) и некоторых отношений в ленточных глинах Горного Алтая**Table 2.** Statistic parameters of chemical elements distribution (mg/kg) and some ratios in varved clays in Gorny Altai

Элемент Element	$\frac{x \pm \delta}{\min - \max}$	V, %	ВКК/UCC	Кк/Cc
Na, %	$\frac{1,4 \pm 0,05}{0,86..2}$	21	2,9 %	0,5
Ca, %	$\frac{1,9 \pm 0,06}{1,3..2,5}$	16	3 %	0,6
Fe, %	$\frac{4,4 \pm 0,1}{3,3..5,6}$	16	3,5 %	1,3
Sc	$\frac{16,3 \pm 0,6}{11,9..21,5}$	17	11	1,5
Cr	$\frac{108,4 \pm 6,04}{14,1..159,1}$	28	35	7,0
Co	$\frac{18,7 \pm 0,9}{12,3..28,8}$	25	10	1,9
Rb	$\frac{94,1 \pm 5,03}{58..141}$	27	112	0,8
Sb	$\frac{3 \pm 0,2}{0,1..4,8}$	33	0,2	15
Cs	$\frac{6,9 \pm 0,4}{4,2..11}$	29	3,7	1,9
Ba	$\frac{868,5 \pm 39,9}{425..1223}$	22	50	1,6
Hf	$\frac{5,3 \pm 0,1}{4,1..6,8}$	13	5,8	0,9
Ta	$\frac{1,5 \pm 0,4}{0,25..10,7}$	133	2,2	0,7
La	$\frac{32,2 \pm 1,1}{12,9..40,9}$	17	30	1,1
Ce	$\frac{68,6 \pm 1,6}{50,1..84,1}$	11	64	1,1
Sm	$\frac{8 \pm 0,4}{5,2..11,7}$	23	4,5	1,8
Eu	$\frac{1,5 \pm 0,05}{1,1..2,1}$	20	0,9	1,7
Tb	$\frac{1,1 \pm 0,04}{0,76..1,6}$	18	0,6	1,8
Yb	$\frac{3,3 \pm 0,09}{2,3..4,1}$	12	2,2	1,5
Lu	$\frac{0,4 \pm 0,01}{0,31..0,56}$	13	0,32	1,3
Th	$\frac{8,6 \pm 0,2}{6,1..10}$	12	10,7	0,8
U	$\frac{3,2 \pm 0,2}{0,5..5,3}$	31	2,8	1,1
Th/U	2,7	0,7	3,9	0,7
La/Yb	9,7	0,5	19,1	0,5
La/Th	3,7	1,3	2,8	1,3

Примечание:  $x$  – среднее арифметическое;  $\delta$  – стандартная ошибка;  $\min$  – минимальное значение;  $\max$  – максимальное значение;  $V$  – коэффициент вариации; ВКК – Кларк верхней континентальной коры [20]; Кк – коэффициент накопления относительно Кларка земной коры в целом [20]; содержание Au, Ag, As и Sr ниже предела их определения методом ИНАА.

Note:  $x$  is the arithmetic mean;  $\delta$  is the standard error;  $\min$  is the minimum value;  $\max$  is the maximum value;  $V$  is the variation factor; UCC is the Clark of the upper continental crust [20], Cc is the accrual rate relative to the Clark of Earth crust as the whole [20]; content of Au, Ag, As and Sr is lower than their determination limit by the instrumental neutron activation analysis (INAA) method.

Анализ матрицы множественной корреляции (рис. 5) показывает, что наиболее сильная положительная связь наблюдается между Sc и Fe (0,9). Значимые корреляционные связи фиксируются у Cs с Co, Fe, Rb (0,8); Sc с Rb (0,8); Fe с Rb (0,8), Lu, Cr (0,7), Th (0,8); Th с Lu, Yb, Ce (0,8); Yb с Lu (0,7).

Наличие многочисленных значимых и достоверных связей элементов с Fe косвенно подтверждает, что минералом-носителем этих элементов является ильменит, по-видимому, также слюда и циркон (значимая связь Th с редкими землями).

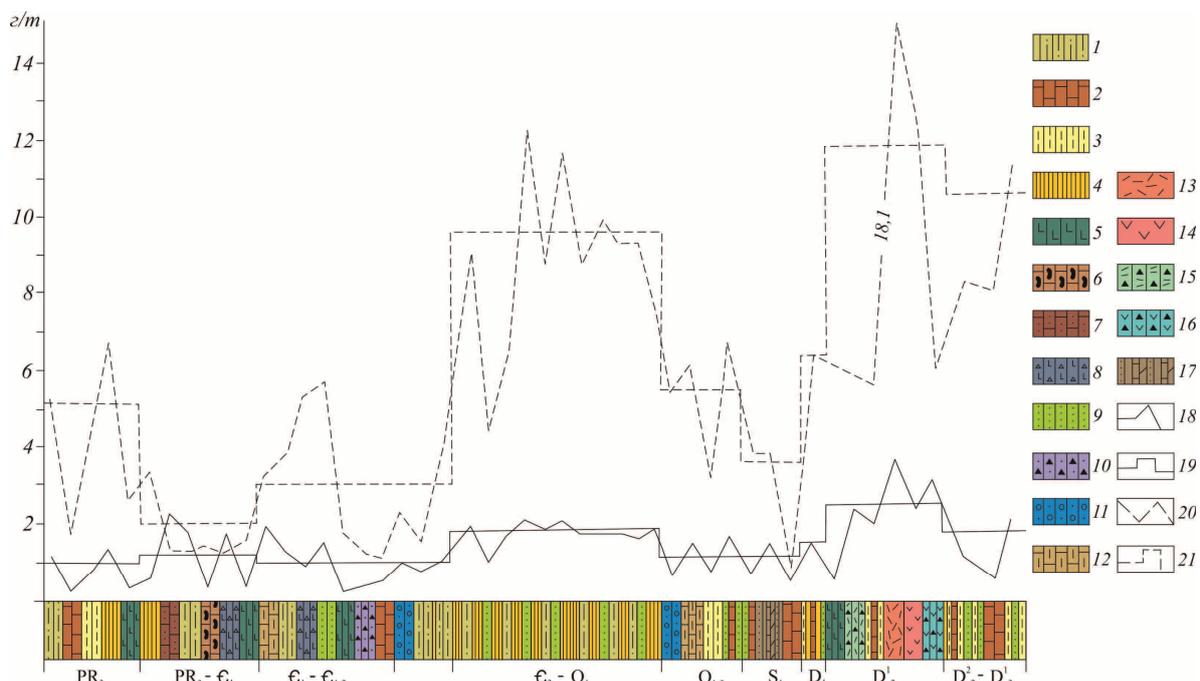
В табл. 3 представлена обобщающая геохимическая модель и возможные источники поступления химических элементов.

**Таблица 3.** Предполагаемый геохимический состав пород области переработки ледником**Table 3.** Conjectural geochemical structure of the rocks in the area of glacier processing

Горизонты ленточных глин Varved clay horizons	Блоки пород основного-среднего состава Blocks of rocks of the main and average composition	Блоки пород кислого-щелочного состава Blocks of rocks of acid-alkali composition	Радио-геохимическая специализация горизонта опробования Radio-geochemical specialization of testing horizon	Th/U	La/Yb	La/Th
1			U	2,1	8,5	3,7
2	Fe, Sc, Cr, Co		Th	<b>19,4</b>	8,3	3,1
3			Th	3,2	8,4	3,5
4				3,7	9,2	3,9
5			U	2,4	9,4	3,9
6				2,7	10,8	3,9
7				2,4	9,6	3,6
8	Fe, Sc, Cr, Co		min Th	2,3	10,6	4,0
9			Th, U	1,7	9,4	3,8
10			Ta	2,1	10,2	4,0
11				2,3	9,8	3,5
12				2,3	9,0	4,3
13				<b>4,0</b>	9,5	3,6
14				2,4	3,9	1,5
15	Fe, Sc, Cr, Co			<b>4,5</b>	10,0	3,5
16				3,7	12,5	3,9
17		Ce, La, Eu, Sm, Yb, Lu, Cs, Ba	Th	3,5	10,0	4,1
18				3,7	9,9	3,9
19				2,7	9,5	3,9
20			Th, U	2,0	11	3,9
21				2,4	12,1	4,2
22			U	2,2	10,9	4,2
23		Hf, Ba, Rb, La, Sm	U	2,6	10,4	4,2
24				2,1	10,4	4,6
Среднее для ленточных глин Average for varved clays				2,7	9,7	3,7

Примечание: выделены показатели выше Кларка для континентальной земной коры.

Note: the values which are higher than Clark for continental crust are highlighted in bold.



**Рис. 4.** Распределение средних содержаний урана и тория в верхнерифейских и палеозойских отложениях Горного Алтая и Западного Саяна [22]: 1 – кварц-альбит-серicits-эпидотовые сланцы; 2 – мраморы, известняки; 3 – кварц-альбит-эпидот-хлорит-актинолитовые сланцы; 4 – кварц-альбит-серicits-хлоритовые и глинистые сланцы; 5 – альбит-эпидот-актинолитовые сланцы (метабазиты) и уралитизированные диабазовые порфириды; 6 – кремнистые известняки, силицилиты; 7 – кристаллические известняки с органикой; 8 – туфы диабазовых порфиридов; 9 – хлоритизированные песчаники; 10 – граувакки; 11 – конгломераты, гравелиты; 12 – известняки и известково-глинистые сланцы с органикой; 13 – риолитовые порфиры; 14 – андезитовые порфириды; 15 – туфы риолитовых порфиритов; 16 – туфы андезитовых порфиритов; 17 – пелитоморфные известняки, известковистые песчаники и сланцы; 18 – содержание урана в различных типах горных пород; 19 – средние содержания урана в породах свит и серий; 20 – содержания тория в различных типах горных пород; 21 – средние содержания тория в породах свит и серий

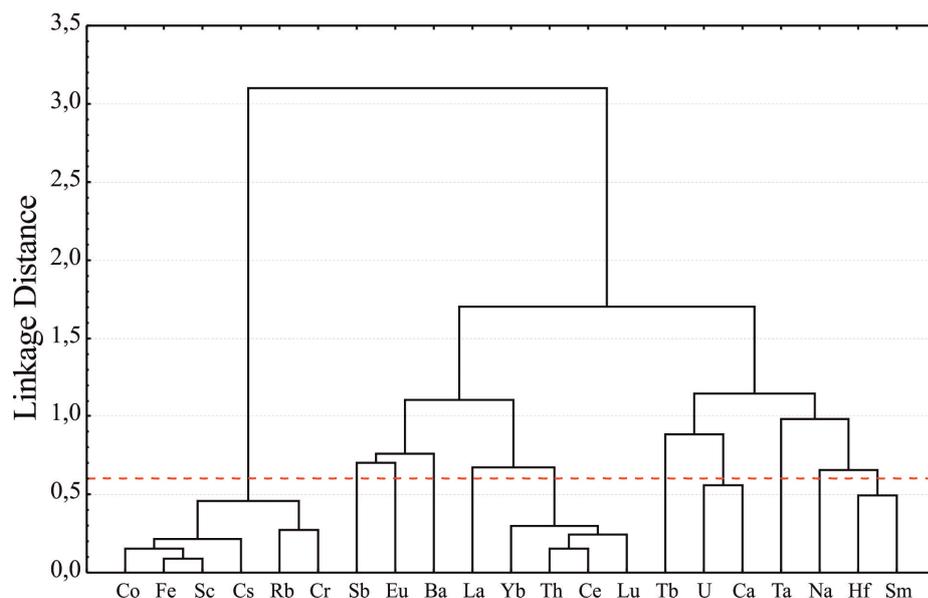
**Fig. 4.** Distribution of average grades of uranium and thorium in Upper Riphean and Paleozoic deposits of Gorny Altai and Western Sayan [22]: 1 – quartz-albite-sericite-epidote shales; 2 – marbles, limestones; 3 – quartz-albite-epidote-chlorite-actinolitic shales; 4 – quartz-albite-sericite-chlorite and clay shales; 5 – albite-epidote-actinolitic shales (metabasites) and uralitized diabase porphyrite; 6 – siliceous limestone, silicilytes; 7 – crystalline limestone with organic matter; 8 – tuff of diabase porphyrites; 9 – chloritized sandstones; 10 – graywacke; 11 – conglomerates, gritstones; 12 – limestones and lime shales with organic matter; 13 – rhyolite porphyry; 14 – andesite porphyrites; 15 – tuffs of rhyolite porphyry; 16 – tuffs of andesite porphyrites; 17 – pelitomorphic limestones, calcareous sandstones and shales; 18 – uranium content in different types of rocks; 19 – uranium average contents in rocks of strata and series; 20 – thorium content in different types of rocks; 21 – thorium average contents in rocks of strata and series

Для получения обобщающих показателей и общей картины распределения элементов были построены геохимические разрезы и рассчитаны отношения по некоторым элементам, таким как Th, U, La, Yb.

В целом по разрезу можно выделить, в первом приближении, цикличность в распределении ряда элементов. Так, в слоях 1–5 идет повышение содержания Th и U, тогда как в 5–10 слоях идет их понижение, а в 11–16 вновь наблюдается увеличение с последующим понижением к точкам 17–19 и обратно повышение их содержания в 20–24 точках. В первом приближении можно выделить три максимума накопления Th: 1) точки 2 и 3, 2) точка 9, 3) точка 17; и два минимума его концентрирования: 1) точки 12 и 13, 2) точка 8 (рис. 6).

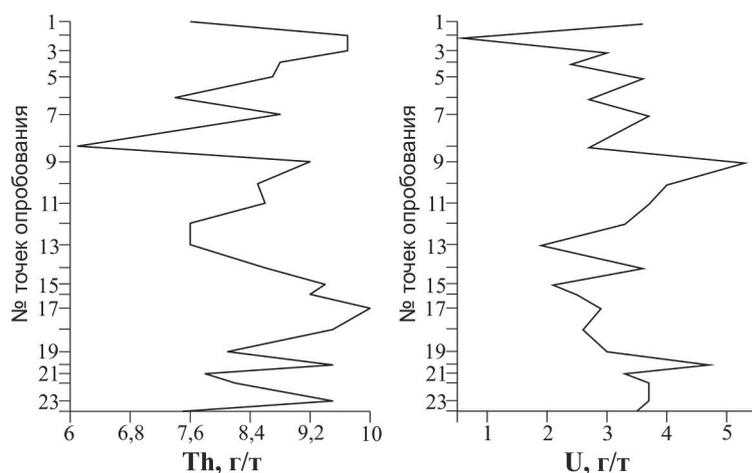
По величине Th/U в разрезе выделяется по два максимума ( $Th/U > 3$ ), приходящихся на точки

опробования 2–4 и на точки 15–18 (рис. 7). Следует также отметить, что точки 7–9 имеют пониженные значения Th/U (до 1,7 в точке 9). Небезынтересно, что все они располагаются в пачке интенсивно послойно перемятых ленточных глин. Повышенные показатели Th/U фиксируются ниже хорошо выраженного маркера в ленточных глинах в виде горизонта темной, до черной, окраски (точка опробования 13). Соответственно, существует два интервала с наименьшей величиной этого показателя: точки 5–14 и 20–24. Намечается третий интервал минимального Th/U в самой верхней части разреза, но он представлен только одной точкой. При этом значения этого показателя в точке 2 весьма высокие и составляют 19,4, что почти в 7 раз выше усредненного его показателя для всей изученной толщи и в 5 раз выше этого показателя для верхней части континентальной коры (3,9).



**Рис. 5.** Дендрограмма (Ward's метод) корреляционной матрицы геохимического спектра ленточных глин Горного Алтая (1-Person  $r_{0,05}=0,60$ ;  $N=24$ )

**Fig. 5.** Dendrogram (Ward's method) of correlation matrix of geochemical spectrum in varved clays of Gorny Altai (1-Person  $r_{0,05}=0,60$ ;  $N=24$ )



**Рис. 6.** Характер распределения тория и урана в вертикальном профиле ленточных глин разреза Чаган-Узун

**Fig. 6.** Pattern of thorium and uranium distribution in verticle profile of varved clays in Chang-Uzun section

На сегодняшний день среди осадочно-метаморфических образований Горного Алтая породы с такими радиогеохимическими показателями неизвестны [22].

Следует также отметить, что ниже интервала с пониженными значениями Th/U (точки 5–12) залегают породы с более высоким лантан-иттербиевым отношением (La/Yb). При этом между двумя слоями, обогащенными углеродистым веществом, залегает горизонт ленточных глин с минимальным показателем 3,9 (рис. 7, точка 14). Лантан-ториевое отношение (La/Th) в этой точке (1,5) минимально и почти в два раза ниже значения для осадочных пород мира ( $2,8 \pm 0,2$ ).

В распределении хорошо коррелируемых между собой элементов группы сидерофилов (Fe, Cr, Sc, Co) в первом приближении также выделяются три максимума (точки 2 и 3, 9, 15 и 16) и два минимума их накопления (точки 4–9, 11 и 12, 17) (рис. 8). Наличие трех горизонтов с максимальным накоплением этих элементов может служить доказательством того, что в это время ледником перерабатывался блок пород основного состава, являющихся поставщиком ильменита в горизонты формирующихся ленточных глин. Общеизвестно, что именно ильменит является концентратором элементов сидерофильной группы.

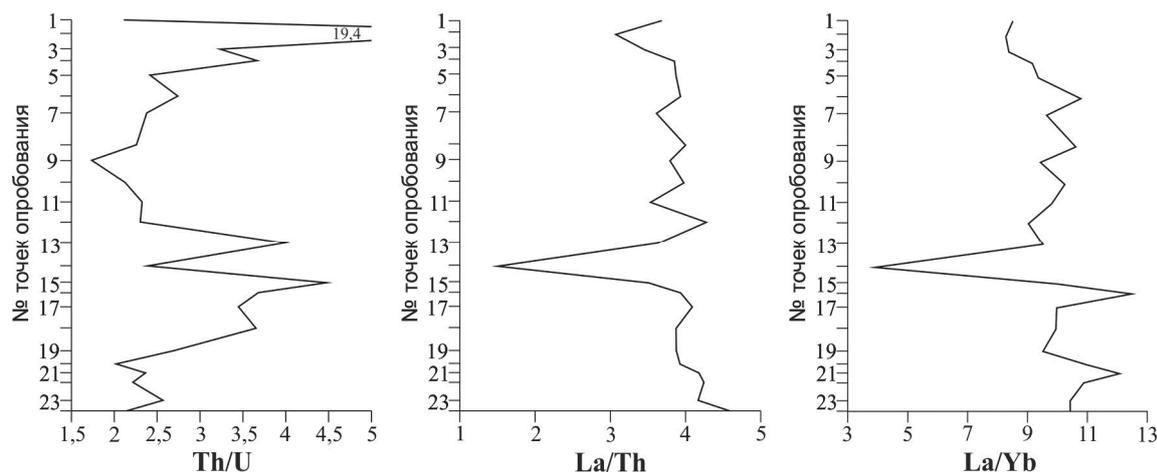


Рис. 7. Характер изменения некоторых отношений элементов в вертикальном профиле ленточных глин разреза Чаган-Узун

Fig. 7. Elements interaction behavior in vertical profile of varved clays in Chang-Uzun section

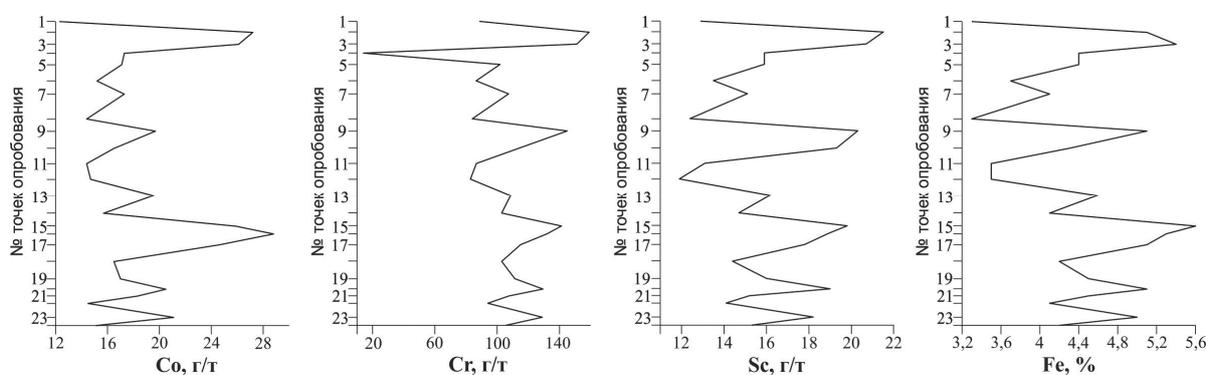


Рис. 8. Характер распределения элементов группы сидерофилов в вертикальном профиле ленточных глин разреза Чаган-Узун

Fig. 8. Distribution of elements of siderophile group in vertical profile of varved clays in Chang-Uzun section

Группа геохимически связанных между собой редкоземельных элементов также имеет близкие кривые вертикального распределения (рис. 9). При этом фиксируется либо два (Eu, Tb), либо три минимума их накопления (Ce, Yb, Lu) и соответственно два или три максимума их накопления: 1) точки 3 и 4, 2) точка 17.

Наиболее ярким горизонтом осадочных пород с максимальным накоплением элементов группы редких земель является горизонт, представленный в точке 17. В ней происходит практически самое максимальное концентрирование редких земель (La, Ce, Sm, Yb, Lu), в этом же горизонте происходит накопление и ряда щелочных и щелочноземельных элементов (Cs, Ba), а также Th. Все это в совокупности позволяет предполагать, что ленточные глины, залегающие на уровне точки опробования 17, формировались при участии пород типа гранитов-сиенитов, либо кислых вулканитов девонского возраста, геохимический спектр которых больше всего подходит к составу ленточных глин.

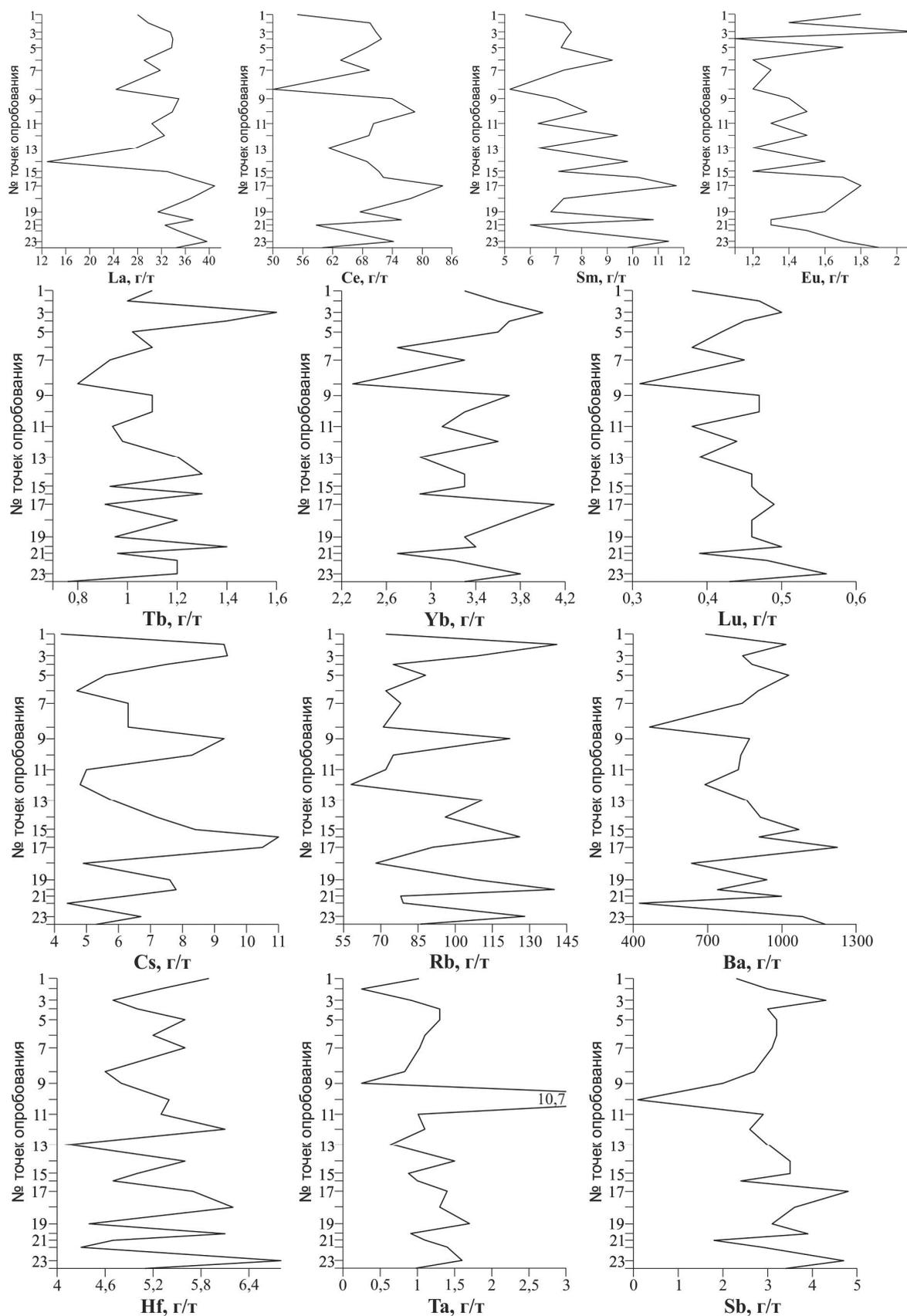
Близкая к этому, но менее контрастная по геохимическому составу, была обстановка на уровне точек опробования 2, 3 и 9, 10. При этом во время

формирования озерных отложений на уровне точки опробования 10 ледник перерабатывал горную породу с повышенным содержанием Ta и минимально низкой концентрацией Sb.

В.В. Бутвиловский [14], изучавший данный разрез ленточных глин, отмечает, что в химическом составе глинистых слоев отражается процесс накопления карбоната кальция, фосфатных соединений, натрия и кремния. По этим показателям, судя по представленным в его работе материалам, может быть выделено в первом приближении три ритма осадконакопления, что находит отражение и в наших геохимических данных.

Выявленная геохимическая цикличность в ленточных глинах разреза Чаган-Узун определяется не только неоднородным составом переработанных пород цоколя, но и режимом ледниковой деятельности, динамикой стока ледниковых вод и рядом других параметров.

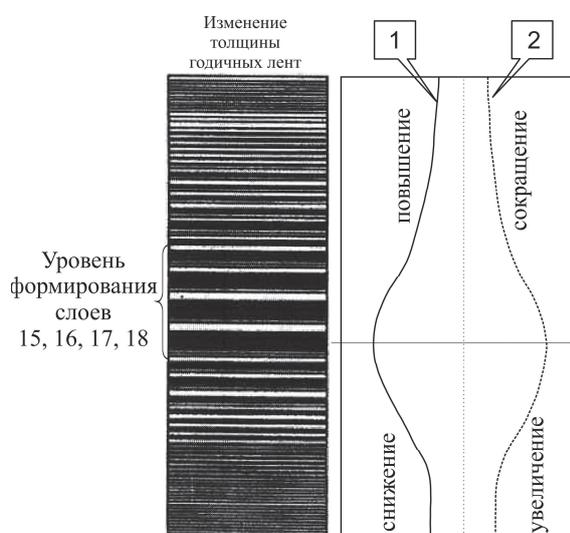
В соответствии с орографическими особенностями бассейна питания ледники не одинаково изменяют свои размеры при общих флуктуациях климатических условий или, иначе, при общих региональных изменениях высоты снеговой линии.



**Рис. 9.** Характер распределения редкоземельных и радиоактивных элементов в вертикальном профиле ленточных глин разреза Чаган-Узун

**Fig. 9.** Distribution of rare-earth and radioactive elements in vertical profile of varved clays in Chang-Uzun section

При сложном геологическом строении бассейна Чаган-Узуна в результате динамики размеров ледников эрозии подвергались разные геологические комплексы [24]. При максимальном развитии оледенения в формировании спектра химических элементов участвовали горные породы всего бассейна. По мере деградации этого сложного ледника выключались из зоны активной экзарации бассейны нижних боковых ледниковых притоков, в частности бассейн р. Кыскынон, затем бассейн р. Джелло (оба на восточном макросклоне Северо-Чуйского хребта). Далее ослабевало значение эрозионного процесса других боковых ледников, да и в основных долинах на интенсивности донной эрозии сказывались стадийные изменения ледников.



**Рис. 10.** Схема интерпретации изменения толщины годичных лент в колебаниях уровней и расходов воды Чуйско-Курайской лимносистемы (по П.С. Бородавко, [21]): 1 – динамика уровня лимносистемы; 2 – динамика расходов воды

**Fig. 10.** Scheme of interpretation of varve thickness change in fluctuation of water levels and rates in Chuya-Kuray limnosystem (by P.S. Borodavko [21]): 1 is the dynamic of limnosystem level; 2 is the dynamic of water rate

Подобную реакцию на колебания климата испытывали и ледники, образывавшие в позднем неоплейстоцене преграду (плотину) для стока вод из Чуйско-Курайской межгорной котловинной системы. Но их роль в динамике глубины ледниково-подпрудного озера была прямо противоположной: отступающие ледники в долинах увеличивали жидкий сток в озёрный бассейн, а одновременно ослабевавшая плотина способствовала увеличению стока из этого озера. Что и на сколько превалировало в этой системе – сказать невозможно. Но факт колебаний глубины озера зафиксирован в изменениях толщины годичных лент: пачки тонких лент отражают увеличение глубины и расширение границ акватории, а пачки толстых лент с закономерным изменением их толщины в пачке отражают уменьшение глубины приёмного бассейна (рис. 10).

Такие изменения в параметрах акватории осадконакопления, изменения гранулометрии осадка и площадей активной ледниковой экзарации, на наш взгляд, нашли отражение в распределении химических элементов по горизонтам вертикального профиля обнажения ленточных отложений в виде аномальных концентраций ряда изученных элементов в точках опробования 15–18.

### Выводы

Геохимические особенности ленточных глин Горного Алтая по своим характеристикам близки к составу верхней континентальной коры. Содержание редких земель, а особенно Cr и Sb, превышает их средние оценки в континентальной коре, что является спецификой данного региона.

Индикаторные отношения (Th/U, La/Yb) в изученных ленточных глинах несколько ниже этих показателей для верхней части континентальной коры, но по показателю La/Th они значительно отличаются от таковых, характерных для тонкозернистых осадочных пород континентальной коры (2,8), что свидетельствует о специфике их формирования.

Среди геохимических ассоциаций весьма четко выделяется две группы элементов: Fe, Co, Sc и Ta, Hf, Sm.

Изучение геохимических особенностей ленточных глин Алтая, на примере их выхода в районе пос. Бельтир (разрез Чаган-Узун), показывает, что отложения приледниковых озер формировались в разные временные интервалы за счет истирания разного типа горных пород: базальтоидов и габброидов, гранитов, сиенитов и липаритов, а также метаморфических сланцев. При этом, судя по геохимическим данным, как минимум трижды питание терригенным материалом осуществлялось за счет истирания пород фемического состава (точки 2, 3, 8, 15, 16), и дважды это происходило за счет сиалических пород (точки 17, 23).

В вертикальном распределении изученных химических элементов отмечаются закономерные тенденции сверху вниз по разрезу в виде увеличения общего содержания U, Sm, Eu и некоторых других. Специфическим событийным интервалом в изученном разрезе ленточных глин является уровень, соответствующий точкам 15–18, характеризующийся максимальным накоплением элементов. Этот интервал соответствует времени смены увеличения глубины водоема и расширения границ акватории с уменьшением глубины лимносистемы, что свидетельствует о значительной роли в формировании геохимических особенностей ленточных глин динамики ледниковой деятельности и режима формировавшейся при этом лимносистемы.

Геохимическое исследование осадков, образующихся флювиогляциальных комплексов, может служить одним из вспомогательных критериев при их изучении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горная энциклопедия: в 5 т. / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984–1991. – Т. 3: Кенган – Орт. – 1987. – 592 с.
2. Uchman A., Kazakauskas V., Gaigalas A. Trace fossils from Late Pleistocene varved lacustrine sediments in eastern Lithuania // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2009. – V. 272. – P. 199–211.
3. Gedl P. Palynology of Late Pleistocene varved clays from ice-dammed lakes at Leborg and Zlocieniec (north-western Poland) – preliminary results // *Geologos*. – 2011. – № 17 (1). – P. 49–59.
4. Johnson M., Stahl Y. Stratigraphy, sedimentology, age and paleoenvironment of marine varved clay in the middle Swedish endmoraine zone // *Boreas*. – 2010. – V. 39. – № 2. – P. 199–214.
5. An event stratigraphy for the last glacial-holocene transition in eastern middle Sweden: results from investigations of varved clay and terrestrial sequences / J. Bjoerck, S. Wastegard, K. Schoning, T. Andren, G. Possnert // *Quaternary Science Reviews*. – 2002. – V. 21. – № 12–13. – P. 1489–1501.
6. Zillen L. Setting the holocene clock using varved lake sediments in Sweden // *Lundqua Thesis*. – 2003. – V. 50. – P. 1–37.
7. De Geer G.A. Geochronology of the last 12000 years // 11<sup>th</sup> *Congres Geologique Internationale, Comptes Rendues*. – Stockholm, 1912. – P. 241–253.
8. Бахмутов В.Г., Евзеров В.Я., Колька В.В. Литология и палеомагнетизм ленточных глин // *Сборник научных трудов Института геологических наук НАН Украины*. – 2008. – № 6. – С. 55–66.
9. Окишев П.А., Рудой А.Н., Герасимов Н.Г. Ленточные отложения Чаган-Узуна и их палеогляциологическое значение // *Гляциология Алтая*. – Томск: Томский университет, 1978. – Вып. 14. – С. 43–65.
10. Рудой А.Н. К диагностике годичных лент в озёрно-ледниковых отложениях Горного Алтая // *Известия Всесоюз. географического общ.* – 1981. – Т. 113. – Вып. 4. – С. 334–339.
11. Рудой А.Н. Некоторые вопросы палеогеографической интерпретации литологии и особенностей распространения озёрно-ледниковых отложений Горного Алтая // *Гляциология Сибири*. – 1981. – Вып. 1 (16). – С. 111–134.
12. Гольдшмидт В.М. Геохимия // *Сборник статей по геохимии редких элементов (перевод с немецкого и английского)*. – М.: Л., 1938. – 244 с.
13. Максимов Е.В., Данилов В.С., Михайлова Т.В. Стадии распада горных ледников последнего оледенения и радиоактивность // *Известия Всесоюз. географического общества*. – 1990. – Т. 122. – Вып. 6. – С. 529–535.
14. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1993. – 253 с.
15. Разрез новейших отложений Алтая (Опорные разрезы новейших отложений) / под ред. К.К. Маркова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 208 с.
16. Зольников И.Д., Мистрюков А.А. Четвертичные отложения и рельеф долин Чуи и Катуня. – Новосибирск: Параллель, 2008. – 182 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Ч. 6. Бассейн р. Чуи. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 60 с.
18. Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований (на примере Алтае-Саянской складчатой области). – Новосибирск: Изд-во «Гео» СО РАН, 2002. – 535 с.
19. Митропольский А.С. Уран и торий в процессах развития земной коры юга Алтае-Саянской складчатой области: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 1978. – 48 с.
20. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: её состав и эволюция. Рассмотрение геохимической летописи, запечатлённой в осадочных породах. – М.: Изд-во «Мир», 1988. – 384 с.
21. Бородавко П.С. Эволюция Чуйско-Курайской лимносистемы в позднем неоплейстоцене: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Томск, 2003. – 22 с.
22. Уран и торий в геосинклинальных отложениях Горного Алтая и Западного Саяна / под ред. А.С. Митропольского. – Новосибирск: Наука, 1975. – 90 с.
23. Тикунюв Ю.В. Геохимия девонских вулканитов островодужного типа центральной и западной частей Горного Алтая. Препринт № 2. – Новосибирск: ОИГГМ, 1994. – 54 с.
24. Карта полезных ископаемых. Серия Горно-Алтайская. М-45-XVI. М: 1:200000. – 1961.

*Поступила 11.09.2014 г.*

UDC 551.332:550.4(571.151-25)

## GEOCHEMICAL FEATURES OF VARVED CLAYS IN GORNY ALTAI AND THEIR POTENTIAL USE IN GLACIOLOGICAL STUDIES

**Leonid P. Rikhvanov,**

Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: rikhvanov@tpu.ru

**Peter A. Okishev,**

Dr. Sc., National Research Tomsk State University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: tourism2011@vtomske.ru

**Nadezhda P. Soboleva,**

Cand. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: sobnadi@yandex.ru

**Elnar I. Mataev,**

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: mataevelnar@mail.ru

**The relevance of the research** is caused by the insufficient knowledge of the varved clays glacial lakes of the Gorny Altai from the geochemical point of view and by the possibility to apply the current data for reconstructing the dynamics of glacial activity on the observed area.

**The main aim of the study** is to estimate the content of 25 chemical elements including rare, rare-earth and radioactive elements; to analyze their distribution nature in the section of varved clays and to compare the periodicity of elements accumulation in section with the potential sources of rock destruction products from surrounding glaciers.

**The methods used in the study:** gamma-spectrometric method, the method of instrumental neutron activation analysis, analysis of multiple correlation matrix by the Ward's method; statistical analysis, the comparative geographical method.

**The results.** The authors have obtained the parameters of 25 chemical elements distribution based on instrumental neutron activation analysis results. The parameters reflect the nature and characteristics of their accumulation in the vertical profile of the varved clays formed in the ancient glacial lake. General trend of chemical elements behavior in varved clays formation was determined. The authors defined the accumulation cycles of U, Th, rare-earth elements and their relationships and identified the geochemical elements associations in the section. The formation of geochemical features of Altai varved clays depends on glacial activities dynamics and the mode of glacial lakes. Geochemical study of varved clays glaciofluvial complexes can be used as one of the adjunct criteria in their investigation and for reconstruction of the past glacial situation.

### Key words:

Varved clays, Gorny Altai, glaciers, glacial reconstruction, geochemical features, radionuclides, rare-earth elements.

### REFERENCES

1. *Gornaya enciklopediya* [Mountain Encyclopedia]. Ed. by E.A. Kozlovsky. Moscow, Soviet Encyclopedia Publ., 1984–1991. Vol. 3. Kengan – Ort, 1987. 592 p.
2. Uchman A., Kazakauskas V., Gaigalas A. Trace fossils from Late Pleistocene varved lacustrine sediments in eastern Lithuania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2009, vol. 272, pp. 199–211.
3. Gedl P. Palynology of Late Pleistocene varved clays from ice-dammed lakes at Leborg and Zlocieniec (north-western Poland) – preliminary results. *Geologos*, 2011, no. 17 (1), pp. 49–59.
4. Johnson M., Stahl Y. Stratigraphy, sedimentology, age and paleoenvironment of marine varved clay in the middle Swedish end-moraine zone. *Boreas*, 2010, vol. 39, no. 2, pp. 199–214.
5. Björck J., Wastegård S., Schoning K., Andren T., Possnert G. An event stratigraphy for the last glacial-holocene transition in eastern middle Sweden: results from investigations of varved clay and terrestrial sequences. *Quaternary Science Reviews*, 2002, vol. 21, no. 12–13, pp. 1489–1501.
6. Zillen L. Setting the holocene clock using varved lake sediments in Sweden. *Lundqua Thesis*, 2003, vol. 50, pp. 1–37.
7. De Geer G.A. Geochronology of the last 12000 years. *11<sup>th</sup> Congress Geologique Internationale, Comptes Rendues. – Stockholm, 1912*. pp. 241–253.
8. Bakhmutov V.G., Evzerov V.Ya., Kolka V.V. Litologiya i paleomagnetizm lentochnykh glin [Lithology and paleomagnetism of varved clays]. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta geologicheskikh nauk NAN Ukrainy*, 2008, no. 6, pp. 55–66.
9. Okishev P.A., Rudoy A.N., Gerasimov N.G. Lentochnye otlozheniya Chagan-Uzuna i ikh paleoglyatsiologicheskoe znachenie [Varved sediments of Chagan-Uzun and their Paleoglaciology meaning]. *Glyatsiologiya Altaya*, 1978, Iss. 14, pp. 43–65.
10. Rudoy A.N. K diagnostike godichnykh lent v ozerno-lednikovyykh otlozheniyakh Gornogo Altaya [To diagnose the annual varved lake-glacial sediments of the Gorny Altai]. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1981, vol. 113, Iss. 4, pp. 334–339.
11. Rudoy A.N. Nekotorye voprosy paleogeograficheskoy interpretatsii litologii i osobennostey rasprostraneniya ozerno-lednikovyykh otlozheniy Gornogo Altaya [Some issues of paleogeographic interpretation of lithology and propagation features of the lake-glacial sediments in Gorny Altai]. *Glyatsiologiya Sibiri*, 1981, Iss. 1 (16), pp. 111–134.

12. Goldshmidt V.M. Geokhimiya [Geochemistry]. *Sbornik statey po geokhimii redkikh elementov* [Articles collection of the rare elements geochemistry]. Moscow; Leningrad, 1938. 244 p.
13. Maksimov E.V., Danilov V.S., Mikhaylova T.V. Stadii raspada gornyykh lednikov poslednego oledeneniya i radioaktivnost [The decay stage of the mountain glaciers of the last glaciation and the radioactivity]. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1990, vol. 122, Iss. 6, pp. 529–535.
14. Butvilovskiy V.V. *Paleogeografiya poslednego oledeneniya i golotsena Altaya: sobytiyno-katastroficheskaya model* [Paleogeography of the last glaciation and the Holocene of Altai: an event-catastrophic model]. Tomsk, TSU Publ., 1993. 253 p.
15. *Razrez noveyshikh otlozheniy Altaya (Opornye razrezy noveyshikh otlozheniy)* [Section of the latest sediments of Altai (reference sections of the latest sediments)]. Ed. by K.K. Markov. Moscow, MSU Publ., 1977. 208 p.
16. Zolnikov I.D., Mistryukov A.A. *Chetvertichnye otlozheniya i relief dolin Chui i Katuni* [Quaternary sediments and relief of Chui and Katun valleys]. Novosibirsk, Parallel Publ., 2008. 182 p.
17. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Katalog lednikov SSSR. Tom 15. Altay i Zapadnaya Sibir. Vypusk 1. Gornyy Altay i Verkhniy Irtysh. Chast 6. Basseyn Chui* [The surface water resources of the USSR. The catalogue of glaciers of the USSR. Vol. 15. Altai and Western Siberia. Iss. 1. Gorny Altai and Upper Irtysh. P. 6. Chuya river basin]. Leningrad, Gidrometeo Publ., 1974. 60 p.
18. Rikhvanov L.P. *Radiogeokhimicheskaya tipizatsiya rudno-magmaticheskikh obrazovaniy (na primere Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti)* [Radiogeochemical typification of ore-magmatic formations (by the example of the Altai-Sayan folded area)]. Novosibirsk, «Geo» SB RA Publ., 2002. 535 p.
19. Mitropolskiy A.S. *Uran i toriy v protsessakh razvitiya zemnoy kory yuga Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti. Avtoreferat Dis. Dokt. nauk* [Uranium and thorium in the processes of the Earth crust development of the south Altai-Sayan folded area. Dr. Diss. Abstract]. Novosibirsk, 1978. 48 p.
20. Teylor S.R., Mak-Lenman S.M. *Kontinentalnaya kora: ee sostav i evolyutsiya. Rassmotrenie geokhimicheskoy letopisi, zapechatlennoy v osadochnykh porodakh* [Continental crust: its composition and evolution. Consideration of the geochemical chronicle, imprinted in the sedimentary rocks.]. Moscow, Mir Publ., 1988. 384 p.
21. Borodavko P.S. *Evolutsiya Chuysko-Kurayskoy limnosistemy v pozdnem neopleystotsene. Avtoreferat Dis. Kand. nauk* [Evolution of the Chuya-Kuray limnosistem in the Late Pleistocene. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2003. 22 p.
22. *Uran i toriy v geosinklinalnykh otlozheniyakh Gornogo Altaya i Zapadnogo Sayana* [Uranium and thorium in the geosynclinal sediments of the Gorny Altai and the Western Sayan]. Ed. by A.S. Mitropolskiy. Novosibirsk, Nauka Publ., 1975. 90 p.
23. Tikunov Yu.V. *Geokhimiya devonskikh vulkanitov ostrovo-duzhnogo tipa tsentralnoy i zapadnoy chastey Gornogo Altaya* [Geochemistry of the Devonian volcanic rocks of the festoon islands type in the central and western parts of the Gorny Altai]. Novosibirsk, OIGGM, 1994. 54 p.
24. *Karta poleznykh iskopaemykh. Seriya Gorno-Altayskaya. M-45-XVI. M: 1:200000* [Map of mineral deposits. Gorny Altai series. M-45-XVI. Scale 1:200000]. 1961.

Received: 11 September 2014.