

15. Okuyama S., Torii T., Suzuki A. et al. Journal of Nuclear Science and Technology, A Remote Radiation Monitoring System Using an Autonomous Unmanned Helicopter for Nuclear Emergencies. Supplement 5, P. 414–416 (Gune 2008).
16. www.aerogeo.ru.
17. www.geotech.ca.sn geotechairborne.com.
18. www.snmetals.com World-Exploration-Trends-WET-Report-2016-English-SNL-Metals-mining.pdf.

## УРАНОВЫЕ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СИБИРИ В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

А. А. Поцелуев<sup>1,2</sup>, Ю. С. Ананьев<sup>2</sup>, В. Г. Житков<sup>2,3</sup>, А. А. Новгородцев<sup>4</sup>, Е. А. Митрофанов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ООО «КосмоГеопро»

Томск, Россия, poceluevaa@mail.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

Томск, Россия, ananyevys@mail.ru

<sup>3</sup>Томский государственный университет

Томск, Россия, vlgitkov@yandex.ru

<sup>4</sup>АО «Русбурмаш»

Москва, Россия, AANovgorodtsev@rbm-armz.ru

<sup>5</sup>АО «УРАНГЕО»

Иркутск, Россия, mitevgen@mail.ru

## URANIUM AND RARE METAL DEPOSITS OF SIBERIA IN THE SPACE IMAGERY DATA

A. A. Potseluev<sup>1,2</sup>, Y. S. Ananyev<sup>2</sup>, V. G. Zhitkov<sup>2,3</sup>, A. A. Novgorodtsev<sup>4</sup>, E. A. Mitrofanov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ООО «KosmoGeoPro»

Tomsk, Russia, poceluevaa@mail.ru

<sup>2</sup>TomskPolytechnicUniversity

Tomsk, Russia, ananyevys@mail.ru

<sup>3</sup>TomskStateUniversity

Tomsk, Russia, vlgitkov@yandex.ru

<sup>4</sup>«RUSBURMASH»

Moscow, Russia, AANovgorodtsev@rbm-armz.ru

<sup>5</sup>«URANGEО»

Irkutsk, Russia, mitevgen@mail.ru

Based on the information recovered from modern satellite surveys of low, medium and high spatial resolution, the features of the geological settings of areas of distribution and individual uranium, and rare metal deposits in Siberia are studied. Ore-bearing formations of various levels (district, node, field, deposit), the features of their geological settings including deep structures are sometimes clearly recognizable in remote sensing data. General criteria for the control of ore formations are noted: – circular structures of different diameters; – zones of radial lineaments and areas of their articulation with circular structures; – a combination of circular and radial elements that together form structures of a focal nature. The complex analysis of these structural elements makes it possible to reconstruct the development of geological processes, including ore-forming ones.

### Введение

Последнее десятилетие в практике геологоразведочных работ стали широко применяться материалы мультиспектральных космических съемок [3]. Их использование весьма актуально как на малоизученных площадях, так и в пределах известных горнорудных районов. Материалы космических съемок позволяют получать и уточнять как традиционную информацию, так и выявлять новые данные о геологическом строении и особенностях минерализации изучаемых площадей. В первом случае это картоиро-

вание различных по составу геологических тел, элементов тектоники и др. К новым данным относятся, главным образом, структуры различной морфологии, выявление которых традиционными методами затруднено в силу методических особенностей их проведения (профильность и дискретность наблюдений), либо они проявляются только в данных мультиспектральных наблюдений, включающих «невидимые» области спектра.

Различные в иерархическом плане (от провинции до месторождения) рудоносные образования

проявляются в материалах космосъемок определенными характерными структурами кольцевой, линейной и блоковой морфологии [5].

Во многих работах отечественных и зарубежных специалистов показано, что формирование масштабных урановых месторождений связано с крупными структурами земной коры изометричной формы – гранито-гнейсовыми куполами, вулканотектоническими депрессиями, кальдерами и др. При этом подчеркивается, что месторождения урана областей континентального вулканизма обнаруживают закономерную приуроченность к интрагеоантиклиналям разновозрастных складчатых систем. В этом отношении не являются исключением и урановые месторождения других типов, например, «несогласия» и месторождения зон пластового окисления.

В данной статье обсуждаются результаты проведенных разномасштабных исследований в ряде рудных районов урановых и редкометалльных месторождений Сибири.

### Материалы и методы

В основу исследований положены материалы мультиспектральных космических съемок низкого-среднего (Modis, Landsat ETM+, Landsat 8, Aster) и высокого пространственного разрешения (Ikonos, WorldView-1, WorldView-2, GeoEye-1, QuickBird). Как правило использовались материалы архивных съемок, но в ряде случаев съемки выполнялись оперативно по заказу. С целью создания цифровых моделей рельефа использованы материалы радарных съемок – SRTM и AsterGDEM.

Общая методика исследований космоматериалов включала в себя последовательно следующие этапы – подготовка, обработка, анализ и дешифрирование. При этом решались следующие задачи: – подбор исходных космических данных различных систем; – улучшение, классификация растровых изображений и их дешифрирование; – создание спектрозонального изображения из моноканальных растров и его обработка; – расчет спектральных индексов;

– корреляционный анализ многоканальных изображений методом главных компонент; – спектральный анализ многозонального изображения материалов Aster; – дешифрирование всего комплекса синтезированных изображений с выделением линейных и кольцевых (дуговых) структур, а так же элементов геологического строения; – интерпретация полученных материалов и составление схем дешифрирования.

### Результаты и их обсуждение

**Центрально-Алданский (Эльконский) золото-урановый рудный район** расположен в северо-восточной части Алданского горнопромышленного района республики Саха (Якутия). Район находится на периферии гигантского купола раннедокембрийских пород и пространственно ассоциирует с ареалом субвулканических интрузий щелочноземельных-щелочных пород.

Выполненный ранее [2] анализ космоснимков, морфоструктур, глубины залегания кристаллического фундамента, распределения радиальных и кольцевых разломов позволил выделить здесь радиально-кольцевую структуру диаметром около 120 км, названную Центрально-Алданским магматектононом. Он состоит из ядра, радиальных блоков и вмещает основную часть мезозойских щелочных пород, золотые, урановые и золото-урановые месторождения. Магматектоноген выделяется в гравитационном поле, ему также соответствует высокоомная воронка, уходящая корнями в верхнюю мантию.

Нами выполнена обработка и дешифрирование материалов мультиспектральных космических съемок Landsat, QuickBird, Alos и анализ цифровой модели рельефа. В результате проведенных работ получены структурные схемы Эльконского урановорудного района и месторождений Зоны Южная, являющейся наиболее крупной ураноносной структурой района (рис. 1).

Основными структурными элементами Эльконского рудного района являются (рис. 1 А):

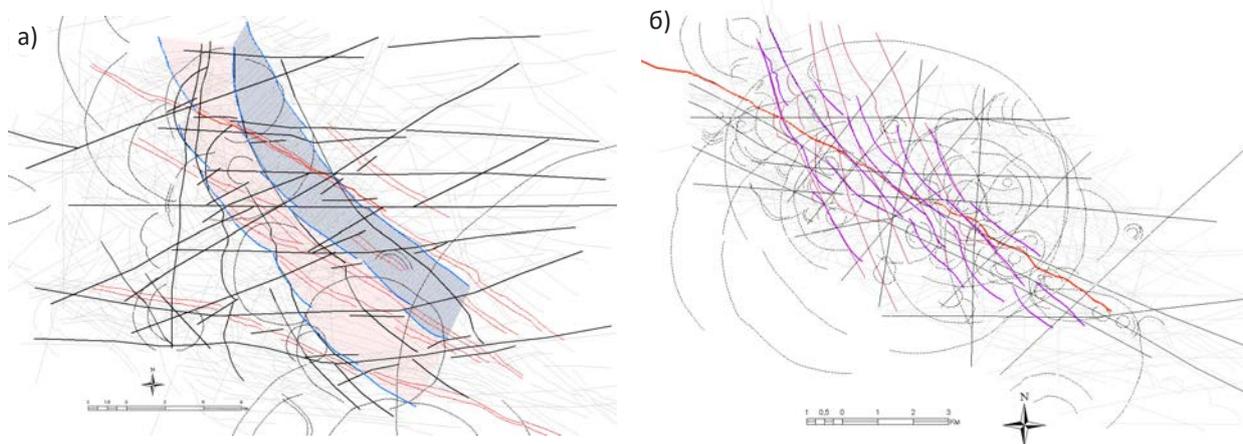


Рис. 1. Структурные схемы Эльконского урановорудного района (А) и Зоны Южная (Б)

- структуры северо-западного простирания. К структурным элементам данной ассоциации относятся и потенциально рудоносные зоны. В целом Эльконский рудный район залегает в пределах зоны линейаризации северо-западного простирания, ширина выхода которой превышает 24 км. В пределах данной зоны статистически возможно выделить несколько локальных линейных струй мощностью 2,5–3,5 км;

- линеаменты субширотного простирания, образующие пучки и зоны мощностью около 1,5 км. В ряде случаев, наблюдается срезание северо-западных зон субширотными нарушениями;

- структуры север-северо-западного направления в основном проявлены в центральной и западной частях исследуемой территории. Они являются более молодыми по отношению к линеаментам северо-западного направления. Эти нарушения образуют зону, названную нами Секущей. Зона Секущая имеет ширину выхода на дневную поверхность около 6 км и дугообразную форму в плане, что свидетельствует о ее наклонном залегании с падением к северо-востоку. В пределах зоны выделяются два блока: лежащий (на структурной схеме отмечен красной штриховкой) и висячий (обозначен серой штриховкой). Лежащий блок характеризуется развитием цепочки кольцевых структур, которые являются отражением глубинных очагов, с которыми, по-видимому, связано формирование интрузивных и субвулканических тел. Висячий блок захватывается только периферическими частями кольцевых структур. «Рудные столбы», которые отмечаются аномалиями, главным образом, урана и золота на продольных проекциях зоны Южной, развиты только в пределах висячего блока Секущей зоны. Учитывая острый угол между простиранием зоны Южной и зоны Секущей, и их встречное паде-

ние, можно сделать вывод о полого погружающейся к юго-востоку их линии скрещения, то есть, в том же направлении, что и склонение «рудных столбов»;

- кольцевые структуры имеют различные размеры. Их диаметры лежат в пределах от 35–45 до 2,5 км. Наибольшее распространение имеют кольцевые элементы с диаметрами 8,5–11 км. На площади работ кольцевые структуры формируют пояс, имеющий северо-западное – субмеридиональное простирание.

Основные структурные элементы Эльконского рудного района детализированы при изучении Зоны Южная (рис. 1 Б).

**Хиагдинское урановорудное поле** располагается в пределах Амалатского плато на сопряжении Сибирской платформы и Урало-Монгольского подвижного пояса. Наиболее крупной тектонической структурой является Байсыханское поднятие кристаллического фундамента, прослеживающееся через всё плато с юго-запада на северо-восток. Размещение рудных залежей контролируется погребенными под плато-базальтовым покровом палеодолинами (выполнены палеогеновыми осадками), развивающимися на юго-восточном и северо-западном склонах поднятия. В пределах Хиагдинского рудного поля известны 8 месторождений, из которых изучены Дыбынское, Хиагдинское, Кореткондинское, Намаруское [1]. Все они относятся к гидрогенному палеодолинному типу.

В пределах месторождения **Дыбынское** развиты два структурных парагенезиса разрывных нарушений – ранний и поздний. К структурам раннего парагенезиса отнесены разрывные нарушения субмеридионального (север-северо-восточного) простирания и ортогональные структуры субширотного простирания. По субмеридиональным структурам предполагаются левосдвиговые смещения. Разрывные нарушения позднего парагенезиса представлены северо-восточными и северо-западными структу-

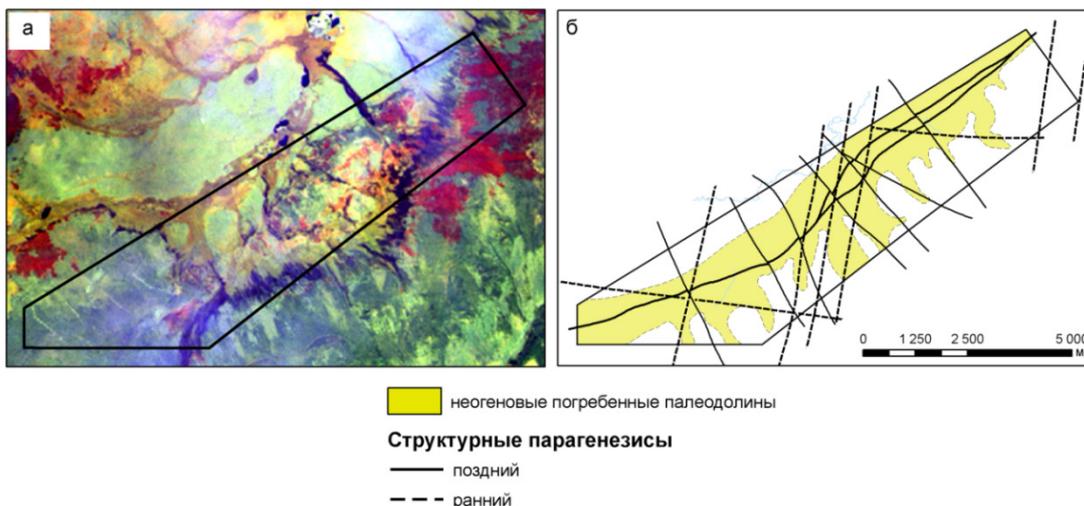


Рис. 2. Месторождение Дыбынское

а – комбинация информативных спектральных каналов; б – структурная схема

рами. Главной тектонической структурой позднего парагенезиса является Кореткондинский разлом. В северо-восточной части площадию уверенно дешифрируется двумя швами. В центральной части он осложняется ортогональными структурами второго порядка северо-западного простирания. В центральной и юго-западной части месторождения закартированы 6 кольцевых структур, которые интерпретируются как элементы погребенной вулканической постройки и как жерла вулканических аппаратов центрального типа.

На **Хиагдинском** и **Кореткондинском** месторождениях так же установлены разрывные нарушения

двух структурных парагенезисов – раннего и позднего (рис. 3). Главными разрывными нарушениями месторождений соответственно являются Хиагдинский и Кореткондинский разломы северо-восточного направления. По этим разломам определяются вертикальные перемещения северо-западных блоков относительно юго-восточных с амплитудой 25 и 15 м соответственно. По более поздним разломам северо-западной ориентировки отмечаются малоамплитудные право- и лево-сдвиговые смещения.

Выполненные исследования показывают, что структуры месторождений Хиагдинского рудного поля контрастно проявлены в материалах космиче-

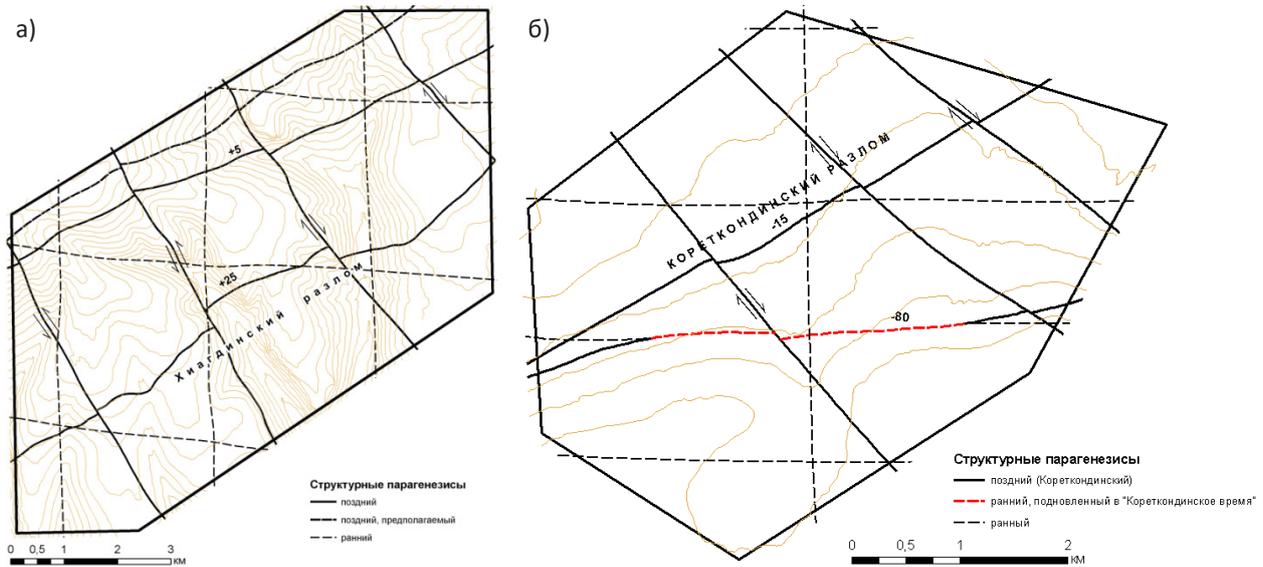


Рис. 3. Структурные схемы Хиагдинского (а) и Кореткондинского (б) месторождений

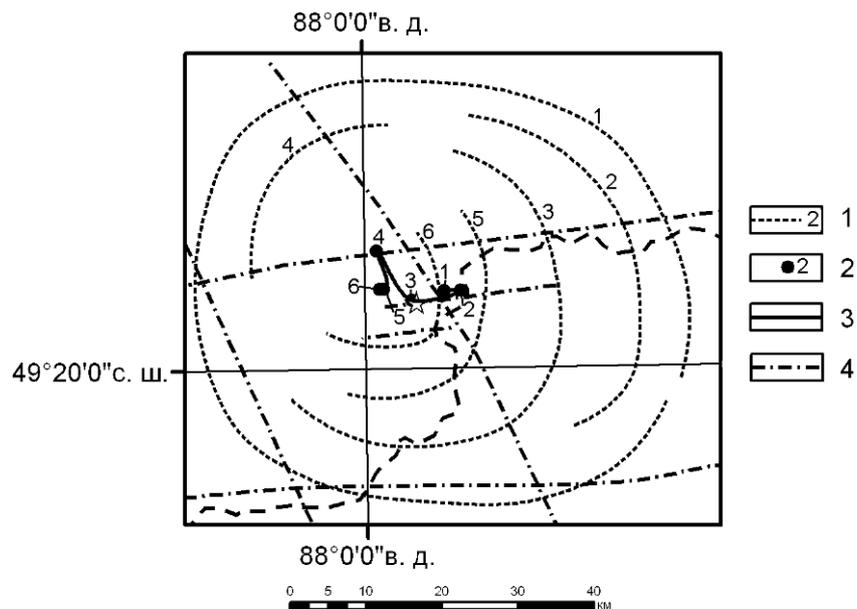


Рис. 4. Космоструктурная модель района Калгутинского месторождения

1) основные кольцевые структуры и их номера, 2) центры кольцевых структур и их номера, 3) проекция на дневную поверхность траектории изменения положения очага Калгутинской рудно-магматической системы, 4) главные линейные элементы района

ских съемок различного спектрального и пространственного разрешения. Положение погребенных палеодолин, при их небольшой глубине залегания, достаточно уверенно фиксируются в материалах дистанционных съемок. Дешифрируемые в пределах месторождений кольцевые структуры интерпретируются как элементы погребенных вулканических построек и как жерла вулканических аппаратов центрального типа.

Эти структурные построения подтверждены результатами буровых работ.

**Район Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения** характеризуется широким развитием крупных структур линейной и кольцевой формы, являющихся элементами единой структурной модели [4].

В районе выявлено более 40 линеаментов разной протяженности и направления, интерпретируемые как разрывные нарушения, создающие в центральной части структуру «битой тарелки». Наряду с этим, выделяются крупные линейные зоны, различной ориентировки, пересекающие весь район и выходящие за пределы изученной площади. Само Калгутинское месторождение находится в узле их сопряжения (рис. 4).

В районе месторождения выделяется 20 кольцевых структур и их дуговых фрагментов. По размерам, особенностям пространственного положения, взаимоотношению все КС разделяются на две группы.

Район Калгутинского месторождения локализован внутри крупной изометричной кольцевой структуры (диаметр около 50 км), характеризующейся телескопированным эксцентричным характером расположения колец основной структуры с проявленными автономными локальными структурами (вторая группа), сосредоточенными в юго-восточной части района. Калгутинское месторождение находится во внутренней части основной кольцевой структуры.

Положения центроидов колец основной кольцевой структуры позволяет восстановить характер и траекторию перемещения очага рудно-магматической системы, формирующего данные структуры. При подъеме очага к поверхности он смещался с востока – юго-востока на запад – северо-запад. Иначе говоря, структура, контролирующая развитие Калгутинской рудно-магматической системы погружается с

запад – северо-запада на восток – юго-восток. Такой вывод подтверждается результатами геолого-геофизического моделирования, показывающими наличие в центральной части интрузивного массива глубоко-залегающей «ножки», погружающейся на юго-восток под углом 45–60°.

## Заключение

Рудоносные образования различного иерархического уровня (провинция, район, узел, поле, месторождение, рудоносная зона), особенности их геологического и в том числе глубинного строения отчетливо проявляются в материалах космических съемок.

Отмечаются общие космоструктурные критерии контроля рудных образований: – кольцевые структуры различного диаметра, в том числе имеющие сложное телескопированное строение; – радиальные зоны линеаментов и участки их сочленения с кольцевыми структурами; – сочетание кольцевых и радиальных элементов, образующих в совокупности структуры очагового характера. Их комплексный анализ позволяет проводить реконструкцию развития геологических и в том числе рудообразующих процессов;

Ряд геологических структур выявляются главным образом, либо только по данным космосъемок. К ним относятся в первую очередь кольцевые структуры, связанные с эндогенными «взрывными» процессами, различной природы. Они характеризуются высокой рудоносностью и с ними, как правило, связаны комплексные с благородными металлами гидротермальные урановые и редкометалльные месторождения.

Выполненные исследования показывают, что анализ материалов космических съемок целесообразно применять на всех этапах и стадиях геолого-разведочных работ, не только в начале, но и в процессе их проведения. Это позволяет оптимизировать систему ГРП, сократить сроки и затраты на их проведение.

Исследования выполнены при поддержке грантов УР.09.01.415, РФФИ 05-05-64356, РФФИ 10-05-00115.

## Литература

1. Ананьев Ю. С. Структуры месторождений Хиатинского урановорудного поля в материалах мультиспектральных космических съемок / Ю. С. Ананьев, А. А. Поцелуев, А. А. Новгородцев, В. Г. Мартыненко, В. Г. Житков // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции. – Томск, 2013. – С. 48–52.
2. Казанский В. И. Геологическая позиция и история формирования Эльконского урановорудного района (Алданский щит, Россия) / В. И. Казанский, Е. П. Максимов // Геология рудных месторождений, 2000. – Т. 42. – № 3. – С. 212–230.
3. Поцелуев А. А. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых:

- учебное пособие для вузов / А. А. Поцелуев, Ю. С. Ананьев, В. Г. Житков. – 3-е изд. – Томск: Изд-во STT, 2019. – 192 с.
4. Поцелуев А. А. Космоструктурная модель Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) / А. А. Поцелуев, Ю. С. Ананьев, И. Ю. Анникова и др. // Известия ТПУ, 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 45–53.
5. Поцелуев А. А. Материалы современных космических съемок при изучении рудоносных районов Сибири / А. А. Поцелуев, Ю. С. Ананьев, В. Г. Житков // Руды и металлы, 2011. – № 3–4. – С. 138–139.

## НАКОПЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (U, Th) В МНОГОСЛОЙНОЙ ЗАЛЕЖИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА (ЮЖНАЯ ТАЙГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Ю. И. Прейс<sup>1</sup>, [Л. П. Рихванов]<sup>2</sup>, А. Е. Мальцев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
Томск, Россия, preisyui@rambler.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет  
Томск, Россия

<sup>3</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН  
Новосибирск, Россия, maltsev@igm.nsc.ru

## ACCUMULATION OF RADIOACTIVE ELEMENTS (U, Th) IN THE MULTILAYER PEAT DEPOSIT OF THE RAISED BOG (SOUTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA)

Yu. I. Preis<sup>1</sup>, [L. P. Rikhvanov]<sup>2</sup>, A. E. Maltsev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS  
Tomsk, Russia, preisyui@rambler.ru

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia

<sup>3</sup>V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS  
Novosibirsk, Russia, maltsev@igm.nsc.ru

In this paper, we consider the temporal dynamics features of the radioactive elements (Th, U) content in the core of a high-moor multilayer swamp peat deposit, typical for the forest zone of Western Siberia. The role of global, regional, and local factors in the accumulation of Th and U at different stages of bog formation has been determined. Significant direct and indirect (through the consequences of cryogenic processes) influence of the Holocene climate on the accumulation of these radioactive elements have been established. Significant losses of U in peat deposits of runoff flowing troughs were revealed. The U concentrations and EF (U) have been proposed as an indicator of the degree of the flow of bog paleoecotopes water regime.

### Введение

Олиготрофные болота активно используются для современного и палеомониторинга геохимических и климатических обстановок окружающей среды. В Западной Сибири торфяные болота являются одним из основных ландшафтов, поэтому необходимы знания о региональных источниках и особенностях временной динамики поступления накопления радиоактивных элементов в их торфяные отложения. Торфяные залежи, особенно олиготрофных глубоко залежных болот, являются хранилищами ценной информации об геохимических, экологических и климатических условиях в голоцене. Поэтому они являются одним из основных объектов, используе-

мых для реконструкций и прогнозов этих условий. Для обоснованных прогнозов для Западной Сибири необходимы знания о региональных особенностях болотообразовательного процесса и отклика болот на климатические изменения голоцена. Однако этот вопрос еще недостаточно разработан в связи с многообразием типов болот, путей их аутогенного и климатогенного развития, а также недостаточной изученностью значимости индикаторов изменений, как климата, так и функционального состояния болот для Западно-Сибирского региона.

Имеются данные о накоплении U и Th в разных типах и видах торфяных залежей Западной Сибири [1, 2, 4, 7, 12], но отсутствуют для широко распространенных верховых топяных залежей.