

# Bottom sediments of Lake Peyungda as a natural archive of climatic and catastrophic events in the past

Short communication

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYNovikov V.S.<sup>1\*</sup>, Darin A.V.<sup>1</sup>, Rogozin D.Yu.<sup>2</sup>, Meidus A.V.<sup>3</sup>,  
Babich V.V.<sup>1</sup>, Markovich T.I.<sup>1</sup><sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademika Koptyuga Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia<sup>2</sup>Institute of Biophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/50, Krasnoyarsk, 660036, Russia<sup>3</sup>Krasnoyarsk State Pedagogical University named after. Astafieva, st. Ady Lebedeva, 89, Krasnoyarsk, 660049, Russia

**ABSTRACT.** Using scanning micro-XRF using synchrotron radiation, profiles of changes in the section depth of the elemental composition of the banded clays of Lake Peyungda (Krasnoyarsk region), located 33 km southwest of the epicenter of the Tunguska disaster of 1908, were obtained. The age model is confirmed by the presence of a dated layer of anomalous thickness associated with the fall and explosion of the Tunguska cosmic body (TCB). Changes in element contents in dated core layers are compared with instrumental meteorological observation data over the last century, and a relationship is found between the average annual temperature of the region and the elemental composition of coeval layers of bottom sediments (transfer function). According to scanning electron microscope and Raman spectroscopy, the 1908 layer is characterized by increased concentrations of Ti-containing minerals (anatase). The appearance of anatase is probably associated with the explosion of the TCB and the subsequent intense erosion of dolerite bodies, which are widely represented in the catchment area.

**Keywords:** paleoclimate reconstructions, geochemistry, bottom sediments, Tunguska meteorite, Lake Peyungda, Raman spectroscopy

**For citation:** Novikov V.S., Darin A.V., Rogozin D.Yu., Meidus A.V., Babich V.V., Markovich T.I. Bottom sediments of Lake Peyungda as a natural archive of climatic and catastrophic events in the past // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 487-492. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-487

## 1. Introduction

The object of study is the bottom sediments of Peyungda Lake. The lake is located within the Tunguska State Nature Reserve in the Evenki District, at a distance of 30 km from the supposed epicenter of the explosion of the Tunguska cosmic body (1908). Peyungda is a round-shaped freshwater lake with a diameter ca. 600 m and a maximum depth of 35 m (Rogozin et al., 2023). The area of the lake is 0.4 km<sup>2</sup>.

Based on the river basin modeling algorithm using ArcGIS 9.3, the Peyungda Lake catchment area of 80 km<sup>2</sup> was calculated (ArcGISTM Spatial Analyst, 2001). The collection of meteoric waters transporting matter of terrigenous origin from a catchment area 200 times larger than the lake area allows us to speak about the direct dependence of the chemical composition of the bottom sediment on the composition of the surrounding rocks.

\*Corresponding author.

E-mail address: [novikovvs@igm.nsc.ru](mailto:novikovvs@igm.nsc.ru) (V.S. Novikov)

**Received:** May 28, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

**Available online:** August 26, 2024

Rocks of the Lower Triassic (Tutochanskaya, Uchamskaya formations), represented by complexes of dolerites and tuff-siltstones, are widespread within the study area. Intrusive igneous rocks belong to three complexes (Katangsky, Kuzmovsky, Tychansky) of gabbro- and moderately alkaline dolerites of the Early Triassic and the agate complex of dolerites of the Middle Triassic. Intrusions form small thin bodies of isometric, isometric-elongated shape, sheet bodies, dikes (Varganov et al., 2015).

## 2. Materials and methods

In 2022, two cores of bottom sediments were obtained: cores Pe-22-1 and Pe-22-3 with a length of 1076 mm and 1187 mm, respectively. Sampling was carried out using a UWITEC gravity sampler (Austria) in the central deep-water part of the lake. The cores

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



were divided into two parts along the sampling axis. From one half of the core, samples were prepared by cutting with a step of 10 mm, from the second, solid samples were prepared for continuous X-ray diffraction scanning at the synchrotron center of the Institute of Nuclear Physics SB RAS according to the method (Darin et al., 2013).

After the samples were delivered to the Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk), solid preparations were prepared by freeze drying and impregnation with epoxy resin. To analyze the content of chemical elements, plane-parallel samples of 2 mm thickness with a ground surface, made from solid preparations of bottom sediments, were used. Optical sections were also made from solid preparations.

Dating of deposits was carried out based on measurements of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  activities along the depth of the section and counting visually identified layers. An age model “core depth-sediment age” was constructed. At a depth of about 80 mm, in all cores there is a visually distinguishable light layer with a thickness of 2-3 mm, which on the age scale corresponds to 1908.

Scanning micro-XRF using synchrotron radiation beams was carried out at the Siberian Center for Synchrotron and Terahertz Radiation using the method Darin et al. (2013). The size of the exciting radiation spot and the scanning step were 1 mm, which is approximately equal to 1.2 - 1.5 years on the age scale. At each point, the rock-forming and trace elements K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, as well as the Co/Inc ratio were simultaneously determined elastically/inelastically scattered exciting radiation on the sample.

### 3. Results

Using an age model, data on the elemental composition of bottom sediment were recalculated from

a linear scale (core depth from the water-sediment boundary) into an integer time series and averaged in steps of 3 years. Data from the nearest weather station at Vanavara, available from 1895 to 2000, were used to search for relationships between geochemical parameters and meteorological parameters (<https://climexp.knmi.nl>; <http://meteo.ru/data/156-temperature>). Using the multiple regression method (Babich et al., 2015), a transfer function was constructed linking the regional average annual temperature with lithological and geochemical data:

$$T = 5.389 \cdot \text{Co/Inc} + 3.887 \cdot \text{Br} + 1.443 \cdot \text{Rb} - 5.657,$$

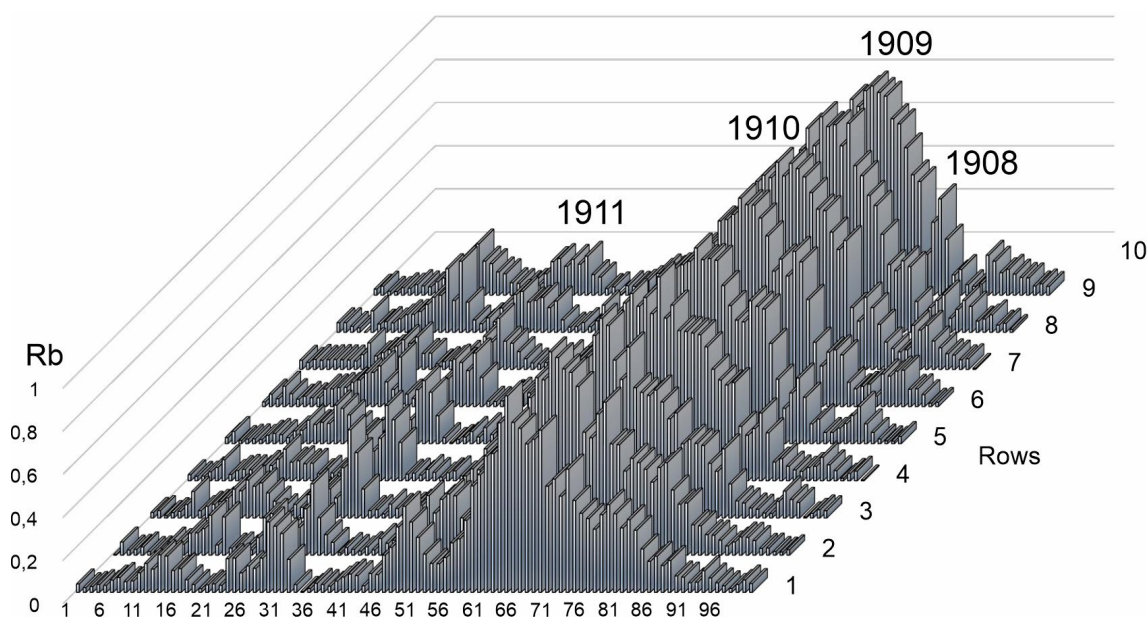
where Br, Rb - concentrations of bromine and rubidium in g/t (ppm), Co/Inc - ratio of the excitation radiation elastically/inelastically scattered on the sample.

Polished sections were scanned using a MIRA 3 LMU scanning electron microscope (SEM). In the 1908-10 layer, an increased content of Ti-containing minerals relative to the overlying and underlying layers was established. The use of Raman spectroscopy methods to identify Ti-containing minerals using the automated WITec Apyron system showed that Ti-containing minerals are represented by anatase (titanium dioxide), characteristic of weathering products of gabbrodolerites.

Detailed 2D micro-XRF scan of the 1908-10 layer, with a step of 0.1-0.2 mm, showed the presence of geochemical anomalies in the form of increased contents of elements characteristic of terrigenous material - Ti, Rb, Zr, Y, Nb. The complex structure of the layer has been determined, showing its formation over 2-3 years (Fig. 1).

### 4. Conclusions

The use of a modern analytical method of micro-XRF using synchrotron radiation beams makes it possible to construct transfer functions that reflect the dependence of changes in the elemental sediment of



**Fig.1.** Distribution of rubidium according to 2D micro-XRF scanning of the 1908-10 layer, with a step of 0.1 mm in a thin section of bottom sediments of Lake Peyungda. A complex structure of the layer formed as a result of increased removal of terrigenous material from the catchment area after the explosion of the TKT in 1908 was revealed.

Lake Peyungda on the average annual temperatures of the study area.

For the obtained function, the correlation coefficient between the initial meteorological data used for training (1895-2000) and the calculated values was + 0.58 ( $n = 105$ ,  $p = 0.01$ ), which makes it possible to reconstruct the average annual temperature of the region based on geochemical data for the entire core sampling depth with 3-year time resolution and quantitative assessment of the reconstructed value.

Detailed studies of the anomalous layer dating from 1908-10 showed that, in comparison with the overlying and underlying layers, the amount of anatase mineral grains in it increases and a number of geochemical anomalies are observed - increased contents of elements characterizing terrigenous demolition material. The source of terrigenous material is the weathering products of differentiated intrusions of the gabbrodolerite complex, which are widely represented within the drainage area.

### Acknowledgements

The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant 22-17-00185 and within the framework of the state assignment of the Institute of Geology and Mineralogy SB RAS No. 122041400214-9.

### References

- ArcGISTM Spatial Analyst: Advanced GIS Spatial Analysis Using Raster and Vector Data. 2001. ESRI White Paper. Redlands 17.
- Babich V.V., Rudaya N.A., Kalugin I.A. et al. 2015. Complex Use of the Geochemical Features of Bottom Deposits and Pollen Records for Paleoclimate Reconstructions (on the Example of Lake Teletskoye, the Altai Republic). *Contemporary Problems of Ecology* 4: 497–506. (in Russian)
- Darin A.V., Kalugin I.A., Rakshun Y.V. 2013. Scanning X-ray microanalysis of bottom sediments using synchrotron radiation from the BINP VEPP-3 storage ring. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 77: 182–184. DOI: [10.3103/S106287381302010X](https://doi.org/10.3103/S106287381302010X)
- Varganov A.S., Popova N.N., Sosnovskaya O.V. 2015. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Mashtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Angaro-Eniseyskaya. List P-47 – Baykit. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation of the third generation. Scale 1 : 1 000 000. Angaro-Eniseyskaya series. Sheet P-47 – Baykit. Explanatory note]. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. (in Russian)
- Rogozin D.Y., Krylov P.S., Dautov A.N. et al. 2023. Morphology of Lakes of the Central Tunguska Plateau (Krasnoyarsk Krai, Evenkiya): New Data on the Problem of the Tunguska Event of 1908. *Doklady Earth Sciences* 510: 307–311. DOI: [10.1134/S1028334X23600044](https://doi.org/10.1134/S1028334X23600044)

# Донные осадки озера Пеюнга, как природный архив климатических и катастрофических событий прошлого

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYНовиков В.С.<sup>1\*</sup>, Дарьин А.В.<sup>1</sup>, Рогозин Д.Ю.<sup>2</sup>, Мейдус А.В.<sup>3</sup>,  
Бабич В.В.<sup>1</sup>, Маркович Т.И.<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия<sup>2</sup>Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Академгородок, 50, Красноярск, 660036, Россия<sup>3</sup>Красноярский Государственный Педагогический Университет им. Астафьева, ул. Ады Лебедевой, 89, Красноярск, 660049, Россия

**АННОТАЦИЯ.** С помощью сканирующего микро-РФА с использованием синхротронного излучения получены профили изменения по глубине разреза элементного состава ленточных глин озера Пеюнга (Красноярский край, Эвенкия), расположенного в 33 км к юго-западу от эпицентра Тунгусской катастрофы 1908 года. Возрастная модель подтверждается наличием датированного слоя аномальной мощности, связанного с падением и взрывом Тунгусского космического тела (ТКТ). Изменения содержаний элементов по датированным слоям керна сопоставлены с данными инструментальных метеонаблюдений за последнее столетие и найдена связь среднегодовой температуры региона и элементного состава одновозрастных слоев донных осадков (трансферная функция). По данным сканирующего электронного микроскопа и рамановской спектроскопии, слой 1908 г. отличается повышенными концентрациями Ti-содержащих минералов (анатаза). Появление анатаза, вероятно, связано со взрывом ТКТ и последующим интенсивным размывом долеритовых тел, широко представленных на территории водосбора.

**Ключевые слова:** палеоклиматические реконструкции, геохимия, донные отложения, Тунгусский метеорит, озеро Пеюнга, КР-спектроскопия

Для цитирования: Новиков В.С., Дарьин А.В., Рогозин Д.Ю., Мейдус А.В., Бабич В.В., Маркович Т.И. Донные осадки озера Пеюнга, как природный архив климатических и катастрофических событий прошлого // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 487-492. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-487

## 1. Введение

Объектом исследования являются донные осадки озера Пеюнга. Озеро располагается в пределах ГПЗ “Тунгусский” в Эвенкийском автономном округе, на расстоянии 30 км от предполагаемого эпицентра взрыва Тунгусского космического тела (1908 г.). Пеюнга представляет собой пресноводное озеро округлой формы диаметром около 600 м и максимальной глубиной 35 м (Rogozin et al., 2023). Площадь озера составляет 0,4 км<sup>2</sup>.

На основании алгоритма моделирования речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3 был произведен расчет площади территории водосбора озера Пеюнга 80 км<sup>2</sup> (ArcGISTM Spatial Analyst, 2001). Сбор метеорных вод, транспортирующих вещество тригенного происхождения, с площади водос-

бора в 200 раз превышающей площадь озера позволяет говорить о прямой зависимости химического состава донного осадка от состава окружающих горных пород.

Широкое распространение в пределах исследуемой территории получили породы нижнего триаса (туточанская, учамская свиты), представленные комплексами долеритов и туфоалевритов. Интрузивные магматические породы относятся к трем комплексам (катангский, кузьмовский, тычанский) габбро- и умеренно щелочных долеритов раннего триаса и агатскому комплексу долеритов среднего триаса. Интрузии образуют мелкие мало-мощные тела изометричной, изометрично-вытянутой формы, пластовые тела, дайки (Варганов и др., 2015).

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [novikovvs@igm.nsc.ru](mailto:novikovvs@igm.nsc.ru) (В.С. Новиков)

Поступила: 28 мая 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



## 2. Материал и методы исследования

В 2022 г. отобрано два керна донных отложений: керны Ре-22-1 и Ре-22-3 длиной 1076 мм и 1187 мм, соответственно. Отбор осуществлялся с помощью гравитационного пробоотборника UWITEC (Австрия) в центральной глубоководной части озера. Керны разделялись вдоль оси пробоотбора на две половины. Из одной половины керна готовились дискретные образцы нарезкой с шагом 10 мм, из второй изготавливались твердые образцы для непрерывного РФА-сканирования в синхротронном центре ИЯФ СО РАН по методике (Darin et al., 2013).

После доставки проб в ИГМ СО РАН (Новосибирск), изготавливались твердые препараты путем лиофильной сушки и пропитки эпоксидной смолой. Для анализа содержания химических элементов использовались плоскопараллельные образцы 2-миллиметровой толщины с пришлифованной поверхностью, изготовленные из твердых препаратов донных осадков. Из твердых препаратов также были изготовлены оптические шлифы.

Датировка отложений осуществлялась на основе измерений активностей  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  по глубине разреза и подсчета визуально выделяемых слоев. Была построена возрастная модель «глубина керна-возраст осадков». На глубине около 80 мм во всех кернах наблюдается визуально различимый светлый слой мощностью 2-3 мм, который на возрастной шкале соответствует 1908 году.

Сканирующий микро-РФА на пучках синхротронного излучения проводился в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения» по методике (Darin et al., 2013). Размер пятна возбуждающего излучения и шаг сканирования составлял 1 мм, что примерно равно 1,2 - 1,5 лет на возрастной шкале. В каждой точке одновременно определялись порообразующие и следовые элементы К, Са, Тi, Мn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, а также Co/Inc – отношение упруго/неупруго рассеянного на образце возбуждающего излучения.

## 3. Результаты

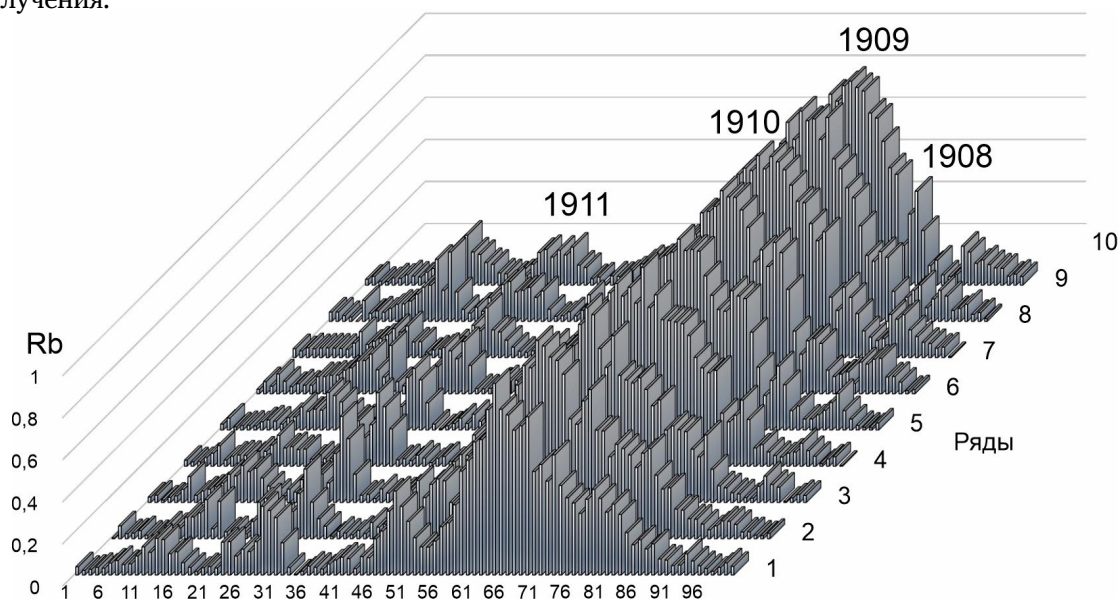
С использованием возрастной модели (глубина керна – возраст осадка) данные об элементном составе донного осадка были пересчитаны из линейной шкалы (глубина керна от границы вода-осадок) в целочисленный временной ряд и усреднены с шагом в 3 года. При поиске взаимосвязи между геохимическими параметрами и метеопараметрами использовались данные ближайшей метеостанции в пос. Ванавара, доступные с 1895 по 2000 г. (<https://climexp.knmi.nl>; <http://meteo.ru/data/156-temperature>). Методом множественной регрессии (Бабич и др., 2015), была построена трансферная функция, связывающая региональную среднегодовую температуру с литолого-геохимическими данными:

$$T = 5.389 \cdot \text{Co/Inc} + 3.887 \cdot \text{Br} + 1.443 \cdot \text{Rb} - 5.657,$$

где Br, Rb – концентрации брома и рубидия в г/т (ppm), Co/Inc – отношение упруго/неупруго рассеянного на образце возбуждающего излучения.

Полированные шлифы сканировались с применением электронного сканирующего микроскопа (СЭМ) MIRA 3 LMU. В слое 1908-10 гг. установлено повышенное содержание Ti-содержащих минералов относительно выше- и нижележащих слоев. Применение методов КР-спектроскопии для идентификации Ti-содержащих минералов с использованием автоматизированной системы WITec Arupon показало, что Ti-содержащие минералы представлены анатазом (диоксид титана), характерным для продуктов выветривания габбродолеритов.

Детальное 2D микро-РФА сканирование слоя 1908-10 гг. с шагом 0,1-0,2 мм, показало наличие геохимических аномалий в виде повышенных содержания элементов, характерных для терригенного материала – Ti, Rb, Zr, Y, Nb. Определена сложная структура слоя, показывающая его образование в течении 2-3 лет (Рис.1).



**Рис.1.** Распределение рубидия по данным 2D микро-РФА сканирование слоя 1908-10 гг. с шагом 0,1 мм в шлифе донных осадков озера Пеюнга. Выявлена сложная структура слоя, образовавшегося в результате повышенного сноса терригенного материала с территории водосбора после взрыва ТКТ в 1908 г.

#### 4. Выводы

Использование современного аналитического метода микро-РФА на пучках синхротронного излучения дает возможность построения трансферных функций, отображающих зависимость изменения элементного осадка озера Пеюнда от среднегодовых температур района исследования.

Для полученной функции коэффициент корреляции между исходными метеоданными, используемыми для обучения (1895-2000 гг.) и расчетными величинами составил + 0.58 ( $n = 105$ ,  $r = 0.01$ ), что позволяет строить реконструкцию среднегодовой температуры региона по геохимическим данным на всю глубину опробования керна с 3-х летним временным разрешением и количественной оценкой реконструируемой величины.

Детальные исследования аномального слоя, датированного 1908-10 гг., показали, что в сравнении с выше- и нижележащими слоями в нем возрастает количество минеральных зерен анатаза и наблюдается ряд геохимических аномалий, – повышенные содержания элементов, характеризующих материал терригенного сноса. Источником терригенного материала являются продукты выветривания дифференцированных интрузий комплекса габбродолеритов, широко представленных в пределах водосборной площади.

#### Благодарности

Работы выполнены при поддержке гранта РФФ 22-17-00185 и в рамках государственного задания ИГМ СО РАН №122041400214-9.

#### Список литературы

Бабич В.В., Рудая Н.А., Калугин И.А. и др. 2015. Опыт комплексного использования геохимических особенностей донных отложений и палинологических записей для палеоклиматических реконструкций (на примере оз. Телецкое, Российский Алтай) // Сибирский экологический журнал 22 (4): 497–506.

Варганов А. С., Попова Н. Н., Сосновская О. В. и др. 2015. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист Р-47 – Байкит. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 359 с.

ArcGISTM Spatial Analyst: Advanced GIS Spatial Analysis Using Raster and Vector Data. 2001. ESRI White Paper. Redlands 17.

Darin A.V., Kalugin I.A., Rakshun Y.V. 2013. Scanning X-ray microanalysis of bottom sediments using synchrotron radiation from the BINP VEPP-3 storage ring. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics 77: 182–184. DOI: [10.3103/S106287381302010X](https://doi.org/10.3103/S106287381302010X)

Rogozin D.Y., Krylov P.S., Dautov A.N. et al. 2023. Morphology of Lakes of the Central Tunguska Plateau (Krasnoyarsk Krai, Evenkiya): New Data on the Problem of the Tunguska Event of 1908. Doklady Earth Sciences 510: 307–311. DOI: [10.1134/S1028334X23600044](https://doi.org/10.1134/S1028334X23600044)