

© Л.В. РАЗУМОВСКИЙ¹, И.А. КАЛУГИН², А.В. ДАРЬИН³,
Т.С. ШЕЛЕХОВА⁴, В.Л. РАЗУМОВСКИЙ⁵

^{1,5}Институт водных проблем РАН (Москва)

^{2,3}Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск)

⁴Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск)

razum@aqu.laser.ru, ikalugin@igm.nsc.ru, darin@ngs.ru,
selekh@krc.karelia.ru, nethaon@mail.ru

УДК 574.58; 582.26; 551.332.26; 551.799

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ДВУХ ГОРНЫХ ОЗЕР КАВКАЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА

TEMPERATURE REGIME RECONSTRUCTION OF TWO CAUCASIAN MOUNTAIN LAKES BASED ON DIATOM ANALYSIS

АННОТАЦИЯ. В статье проанализированы данные по диатомовым комплексам из донных отложений оз. Каракель (Республика Карачаево-Черкессия) и оз. Донгузорун (Республика Кабардино-Балкария). Оба озера имеют ледниковое происхождение.

Первичный материал был получен в результате бурения озерных осадков в наиболее глубокой части этих озер. Реконструкция температурного режима озер проведена по результатам анализа систематического состава диатомовых комплексов. Расчет изменений температурного режима основан на принципе унификации биоиндикационных методов.

Обсуждаются перспективы применения нового метода для палеоклиматических реконструкций. В работе использованы результаты изотопного датирования и геохимического анализа озерных осадков. По диатомовым комплексам выявлены долговременные тенденции изменения температурного режима в исследованных озерах. Кроме того, обнаружены более кратковременные периоды повышения и понижения температуры воды в оз. Донгузорун, которые, вероятно, связаны с сезонными изменениями. Ранее для обоих озер были выделены периоды перетолжения донных осадков под воздействием селевых потоков. По результатам диатомового анализа эти процессы всегда совпадали с периодами относительного повышения температуры озерных вод.

SUMMARY. The authors present the analysis of data on diatom assemblages from the bottom sediments in Lake Karakylol (Karachayev-Cherkessian Republic) and Lake Donguzorun (Kabardino-Balkarian Republic). Both lakes are of glacial origin. The sediments samples were drilled in the deepest parts of lakes. The temperature regime of lakes was reconstructed according to taxonomic composition of diatom assemblages. The calculations of temperature variations were based on the unification principle of bioindication methods. The prospects of application of this new method for paleoclimatic reconstructions are discussed. The results of the isotopic dating and the geochemical analysis of lacustrine sediments were used. On the basis of diatom assemblages the long-term trends of temperature variations for study lakes were revealed. Moreover, the authors determined short-term periods of increasing and decreasing of water temperature in Lake Donguzorun which were probably connected with seasonal changes. Previously, the periods of sediment redeposition resulted from mud flow activity have been determined for both lakes.

According to the results of diatom analysis it was found that these processes always coincided with periods of the relative temperature increasing in the lake.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Диатомовый анализ, озерные осадки, температурные реконструкции, биоиндикационные методы.

KEY WORDS. Diatom analysis, lacustrine sediments, temperature reconstructions, bioindication methods.

Введение. Озера являются традиционными объектами при палеоэкологических и палеоклиматических реконструкциях. Комплексные палеолимнологические исследования с привлечением диатомового анализа позволяют получить наиболее достоверную картину эволюции озерных экосистем. Вместе с тем диатомовый анализ имеет значительный неиспользованный информационный резерв. Наглядным подтверждением этого факта является разработанный принцип унификации биоиндикационных методов [1], [2]. На сегодняшний день информация о состоянии озерных экосистем Кавказа, как индикаторов глобальных изменений климата и окружающей среды, крайне ограничена [3], что явилось основой для выполнения этой работы.

Методика исследования. Оз. Каракель (43°26'39" с.ш. и 41°44'26" в.д.) расположено в пределах западной высокогорной провинции Большого Кавказа, в долине р. Теберда. Озеро находится на высоте 1335 м над у.м., имеет овальную форму и вытянуто в направлении простирания долины. Длина озера 280 м, ширина — 140 м; основные глубины равны 6-11 м. По мнению Г.К. Тушинского [4], оз. Каракель образовалось путем подпруживания ледниковых потоков моренной грядой.

Оз. Донгузорун (43°13'48" с.ш. и 42°29'63" в.д.) расположено в верховьях долины Баксан (Центральный Кавказ) на высоте 3 100 м над у.м. Озеро имеет неправильные, вытянутые вдоль долины очертания. Длина озера 650 м, ширина — 220 м, максимальная глубина — 4 м. Озеро проточное, из него вытекает р. Донгузорун — правый приток р. Баксан. Озеро образовалось путем подпруживания одноименным ледником, который располагается на северном склоне Большого Кавказского хребта.

Донные осадки были отобраны сотрудниками ИГ РАН из оз. Каракель в сентябре 2010 г; из оз. Донгузорун в августе 2012 г. Отбор озерных осадков проводился в центральной части озер, в зоне максимальных глубин, с плота, при помощи озерного бура типа «бур Несье» [5].

Диатомовый анализ проводился для образцов из верхних участков колонок, пробуренных и поднятых из обоих озер. В колонках из оз. Каракель пробы отбирались через 1 см, в интервале 0-48 см; в колонке из оз. Донгузорун — через 0.5 см, в интервале 0-25 см. Отбор образцов, обработка проб, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей осуществлялись по стандартным методикам [6]. На диатомовый анализ проанализированы 25 проб, через 1 см (0-0.5 см; 1-1.5 см...24-24.5 см).

Исследование полученных образцов озерных осадков имело комплексный характер. Применены: литологические, геохимические, изотопные и другие методы изучения [7-9], что в дальнейшем было использовано при сопоставлении с результатами диатомового анализа.

Помимо классических методов диатомового анализа при реконструкции температурного режима озер применен сравнительно новый принцип унификации биоиндикационных методов [1-2].

В качестве образца был выбран расчет индекса сапробности (S) методом Пантле и Букка в модификации Сладечека [10-11]. Данный метод учитывает относительную частоту встречаемости гидробионтов k и их индивидуальное численное значение — s_i . Значение s_i определяется для каждого низшего таксона (вида, варьетета, формы) по спискам сапробных организмов [12]:

$$S = \frac{\sum s_i \times k}{\sum k},$$

где s_i — индивидуальное численное значение для каждого таксона-индикатора, а k указывает на индикаторную значимость, рассчитанную по шестиступенчатой шкале [11].

При расчете температуры озерных вод ($t^{\circ}\text{C}$) был применен аналогичный метод, что и при расчете численных значений S :

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{\sum t_i \times k}{\sum k},$$

где t_i — индивидуальное численное значение для каждого таксона-индикатора.

Для получения более точных результатов и привлечения более широкого спектра таксонов при реконструкции значений $t^{\circ}\text{C}$ были проведены следующие расчетные операции:

— при наличии данных, представленных для данного таксона в виде численного интервала, рассчитывалось его среднее значение;

— при отсутствии численных значений и указанием только принадлежности к одной из индикационных групп, расчет $t^{\circ}\text{C}$ проводился путем присвоения всем холодноводным формам значения, равного $+10^{\circ}\text{C}$, а тепловодным — $+20^{\circ}\text{C}$.

В результате проведенных расчетов каждому таксону, по которому имеются какие-либо, даже приблизительные, данные по температурной приуроченности, будет соответствовать конкретное численное значение t_i . Такой подход дает возможность существенно расширить спектр таксонов-индикаторов, имеющих численные значения, и составить биоиндикационную таблицу для анализа изменения температуры в конкретном озере. Исходной информационной базой данных для расчета численных значений температуры послужила коллективная монография, содержащая обобщающие сводки данных по индикационной приуроченности современных диатомовых водорослей [12].

Проведенный ранее расчет долговременных изменений температурного режима для озер, расположенных в равнинных районах Европейской части России, позволил получить новую, подтвержденную другими методами, информацию [1-2].

Следует отметить, что при подобных реконструкциях наиболее значимым результатом является детальное выявление темпов и направленности изменения температуры (т.е. динамики), а не расчет численных значений как таковых. Расчет и реконструкция реальных температурных значений методами биоиндикации, вероятно, невозможен.

В работе был также применен метод графического анализа таксономических пропорций в диатомовых комплексах [13]. При помощи последнего проведена идентификация переотложенных диатомовых комплексов [14].

Результаты и их обсуждение. При анализе диатомовых комплексов из озерных отложений было идентифицировано 15 (оз. Каракель) и 44 (оз. Донгузорун) низших таксонов-индикаторов температурной приуроченности. Опыт предыдущих исследований позволяет утверждать, что это достаточное количество таксонов-индикаторов, необходимое для достоверной реконструкции изменений температурного режима [1-2]. По вышеописанной методике построены графики изменения температурного режима в обоих озерах. По результатам изотопного датирования длительность реконструкции для оз. Каракель составила около 2000 лет [8], [14], а для оз. Донгузорун ~ 150 лет.

График, полученный для оз. Каракель, позволяет утверждать, что наибольшая изменчивость (повышение и понижение) рассчитанных температурных значений характерна для тех временных интервалов, где отсутствуют процессы переотложения (рис. 1). По результатам предыдущих исследований это соответствует интервалам: 0-13 см; 25-30 см [14].

Прокладка дороги вдоль западного берега озера (строительство закончено в 1959 г.) значительно снизила интенсивность селевого воздействия на его экосистему. Поэтому последний этап формирования донных отложений (0-13 см) не несет следов переотложения. Соответственно, частота изменения относительных температурных значений (повышение и понижение) более выражены на этом участке графика. В интервале 25-30 см был зафиксирован только один, кратковременный этап переотложения: 27-28 см (по результатам диатомового анализа); 26-27,5 (по геохимическим и литологическим данным) [8], [14].

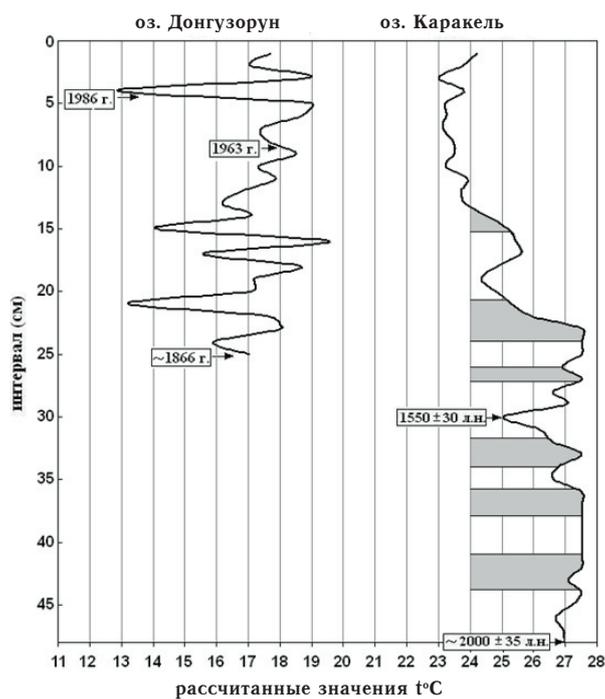


Рис. 1. Реконструкция изменения температуры в озерах Каракель и Донгузорун по результатам диатомового анализа; ■ — интервалы, где зафиксировано переотложение или элементы переотложения диатомовых комплексов

Полученный график относительных температурных значений заметно «выровнен» в тех интервалах, где отмечены переотложения осадков (рис. 1). Однако именно это явление дает дополнительное подтверждение объективности полученных температурных расчетов. Действительно, процессы переотложения всегда затрагивают определенные интервалы. Эти интервалы всегда совпадают с относительным повышением температуры, причем это повышение имеет более масштабный по длительности характер, чем перепады температурных значений в соседних интервалах. Иначе говоря, «выравнивание» температурных значений процессами переотложения происходит в эпохи относительного потепления. Следовательно, событийный ряд приобретает следующую последовательность: потепление климата, активизация селевых сходов, появление процессов переотложения осадков в озере. Вместе с этим в озере развиваются более теплолюбивые ассоциации диатомовых водорослей. Отмирая, они подвергаются процессам переотложения в рамках периодов потепления климата.

График температурных изменений, построенный для оз. Донгузорун, охватывает более короткий промежуток времени (рис. 1). По сравнению с оз. Каракель процессы переотложения менее выражены в донных осадках. По структуре диатомовых комплексов элементы переотложения идентифицированы в интервалах: 8.0-8.5 см; 19.0-19.5 см; 23.0-24.5 см. Переотложенный диатомовый комплекс содержится только в интервале 22.0-22.5 см. Большинство диатомовых комплексов (20 из 25) не переотложены.

Прежде чем обсуждать полученные результаты температурных реконструкций, необходимо обратиться к результатам геохимического анализа.

Еще на начальных этапах описания полученного керна было обращено внимание на выраженную слоистость донных отложений (рис. 2). По результатам геохимического анализа керна — это годовая слоистость озерных осадков. Такое заключение обосновывается результатами примененного метода, сканирующего РФА-СИ шагом сканирования 0,2 мм (200 мкм) [15], [16]. Этим методом была проанализирована верхняя часть керна озерных осадков (0-170 мм) и в каждой точке сканирования определены содержания следующих элементов: К, Са, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb.

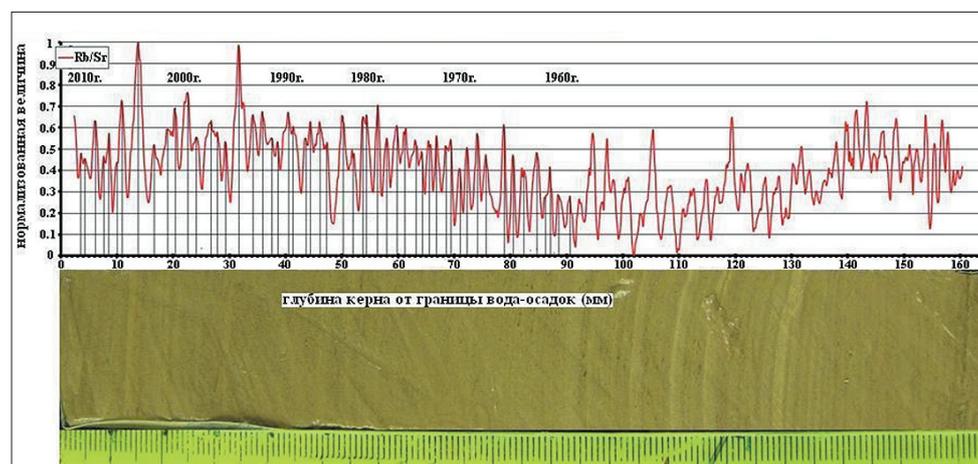


Рис. 2. График изменения соотношения содержания рубидия и стронция (Rb/Sr) вдоль разреза озерных осадков

Если построить график соотношения содержания Rb/Sr (безразмерная величина) и совместить его с фотографией керна, то прослеживается определенная периодичность, совпадающая со слоями донных отложений (рис. 2). Резкие перепады содержания Rb/Sr объясняются неравномерным характером поступления обломочного материала на дно озера. Крупнообломочный и слабовыветрелый материал поступает с весенними паводковыми водами. Он быстро оседает на дне озера, образуя начало годового слоя осадков с соотношением Rb/Sr, характерным для пород территории водосбора. Далее, на протяжении всего года поступают мелкообломочные частицы, в которых процессы выветривания протекают быстрее из-за иного соотношения поверхности и массы. Более интенсивный процесс выветривания сопровождается более интенсивным выносом Sr, и соотношение Rb/Sr меняется (увеличивается). Индикаторная роль отношения Rb/Sr для маркировки весенних паводков была показана исследованиями годовых слоев в осадках оз. Телецкое [17].

Отбор образцов на диатомовый анализ проводился с интервалом 0.5 см, а скорость осадконакопления в озере, рассчитанная по геохимическим данным, составляет 1.73 мм/год. Следовательно, каждый образец содержит осадок, который накопился более чем за два года. Поэтому нет никаких гарантий, что в каждом случае был проведен расчет температурных значений по нескольким полным сезонам. Например, в нижней части некоторых отобранных образцов может содержаться только весенний комплекс видов, а в верхней части других могут преобладать диатомовые из летне-осеннего комплекса. Когда озеро свободно ото льда, присутствие таксонов-индикаторов имеет определенную сезонную приуроченность, в зависимости от степени прогревания озерных вод. Все упомянутые причины приводят к заметному разбросу при расчетах. Именно поэтому график изменения температурных значений имеет «пилообразные» очертания (рис. 1).

Выводы. Предложенный метод реконструкции изменения расчетных температурных значений достаточно информативен, когда анализируются относительно длительные промежутки времени (не менее нескольких столетий). Реконструкция для более коротких интервалов времени может привести к значительным расчетным погрешностям. Это связано не с изъянами в предложенной методике расчетов температуры. Существуют технические проблемы отбора на анализ образцов осадка, который образовался за несколько полных годовых циклов. Без использования результатов геохимического и изотопного анализа реконструкция для коротких временных интервалов неэффективна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский Л.В. Новейшая история озера Борое по результатам диатомового анализа // Водные ресурсы, 2008. Т. 35. № 1. С. 98-109.
2. Разумовский Л.В., Гололобова М.А. Реконструкция температурного режима и сопряженных гидрологических параметров по диатомовым комплексам из озера Глубокого // Водные ресурсы, 2008. Т. 35. № 4. С.490-504.
3. Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В., Гашкина Н.А., Шевченко А. В., Разумовский В.Л., Машуков А.С., Хорошавин В.Ю. Палеоэкологические исследования горных озер // Водные ресурсы, 2012. Т.39. №5. С. 543-557.
4. Тушинский Г.К. Современное и древнее оледенение Тебердинского района // Побежденные вершины. М.: Географиз, 1949. С. 263-297.

5. Nesje, A. A piston corer for lacustrine and marine sediments // *Arctic and Alpine Research*, 1992. V. 24. № 3. Pp. 257-259
6. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
7. Дарьин А.В., Калугин И.А. Реконструкция климата Горного Алтая по данным литолого-геохимических исследований донных осадков озера Телецкое // *Известия РАН. Серия географическая*. 2012. № 6. С. 74-82.
8. Соломина О.Н., Калугин И.А., Александрин М.Ю., Бушуева И.С., Дарин А.В., Долгова Е.А., Жомелли В., Иванов М.Н., Мацковский В.В., Овчинников Д.В., Павлова И.О., Разумовский Л.В., Чепурная А.А. Бурение осадков оз. Каракель (долина р. Теберда) и перспективы реконструкции истории оледенения и климата голоцена на Кавказе // *Лед и Снег*. 2013. № 2 (122). С. 102-111.
9. URL: <http://www.radiocarbon.pl>
10. Sladeček, V. System of water quality from the biological point of view // *Arch. Hydrobiol., Beiheft., Erdeb. Limnol.* 1973. № 7. Pp. 1-218.
11. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. Абакумова В.А. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.
12. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
13. Разумовский Л.В. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. М.: Геос, 2012. 200 с.
14. Разумовский Л.В., Разумовский В.Л. Регистрация новейших экосистемных событий в озере Каракель по переотложенным диатомовым комплексам // *Вестник Тюменского государственного университета*. 2013. № 12. Серия «Экология». С. 121-127.
15. Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Сканирующий рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // *Известия РАН. Серия физическая*. 2013. Т. 77. № 2. С. 204-206.
16. Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 // *Научный вестник НГТУ*. 2013. № 2(51). С. 112-118.
17. Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Применение сканирующего рентгенофлуоресцентного микроанализа с использованием синхротронного излучения для изучения вариаций элементного состава годовых слоев в шлифах донных осадков оз. Телецкое // *Известия РАН. Серия физическая*. 2013. Т. 77. № 2. С. 210-211.

REFERENCES

1. Razumovskii, L.V. Recent history of Lake Boroye according to the results of diatom analysis. *Vodnye resursy — Water Resources*. 2008. V. 35. № 1. Pp. 98-109. (in Russian).
2. Razumovskii, Golobova, M.A. Temperature regime reconstruction and associated hydrological parameters on diatom assemblages from Lake Glubokoye. *Vodnye resursy — Water Resources*. 2008. V. 35. № 4. Pp. 490-504. (in Russian).
3. Moiseenko, T.I., Razumovskii, L.V., Gashkina, N.A., Shevchenko, A. V., Razumovskii, V.L., Mashukov, A.S., Khoroshavin, V.Iu. Paleoenvironmental studies of mountain lakes. *Vodnye resursy — Water Resources*. 2012. V. 39. № 5. Pp. 543-557. (in Russian).
4. Tushinskii, G.K. Modern and ancient glaciation of Teberdinsky district // *Pobezhdennye vershiny* [Defeated tops]. Moscow, 1949. Pp. 263-297. (in Russian).
5. Nesje A.A piston corer for lacustrine and marine sediments. *Arctic and Alpine Research*. 1992. V. 24. № 3. Pp. 257-259
6. Davydova, N.N. *Diatomovye vodorosli — indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene* [Diatoms — indicators of environmental conditions of water bodies in the Holocene]. Leningrad, 1985. 244 p. (in Russian).

7. Dar'in, A.V., Kalugin, I.A. Reconstruction of the climate of Mountain Altai according to lithological and geochemical studies of the sediments from Lake Teletskoye. *Izvestiia RAN. Seriya geograficheskaya — Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geography series*. 2012. № 6. Pp. 74-82. (in Russian).
8. Solomina, O.N., Kalugin, I.A., Aleksandrin, M.Iu., Bushueva, I.S., Darin, A.V., Dolgova, E.A., Zhomelli, V., Ivanov, M.N., Matskovskii, V.V., Ovchinnikov, D.V., Pavlova, I.O., Razumovskii, L.V., Chepurnaia, A.A. Drilling of Lake Kara-Kel sediments of (Teberda River valley) and the prospects for reconstruction of the history of glaciation and Holocene climate in the Caucasus. *Led i Sneg — Ice and Snow*. 2013. № 2 (122). Pp. 102-111. (in Russian).
9. <http://www.radiocarbon.pl/>
10. Sladeček, V. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol., Beiheftz., Erdeb. Limnol.* 1973. № 7. Pp. 1-218.
11. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Hydro-biological monitoring of freshwater ecosystems manual] / Ed. by Abakumov V.A. St-Petersburg, 1992. (in Russian).
12. Barinova, S.S., Medvedeva, L.A., Anisimova, O.V. *Bioraznoobrazie vodoroslei — indikatorov okruzhaiushchei sredy* [Algae biodiversity — environmental indicators]. Tel Aviv, 2006. 498 p. (in Russian).
13. Razumovskii, L.V. *Otsenka transformatsii ozernykh ekosistem metodom diatomovogo analiza* [Transformation assessment of lake ecosystems by diatom analysis]. Moscow, 2012. 200 p. (in Russian).
14. Razumovskii, L.V., Razumovskii, V.L. Registry of the latest ecosystem events in Lake Kara-Kel redeposited on diatom assemblages. *Vestnik Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta — Tyumen State University Herald*. 2013. № 12. Series «Ecology». Pp. 121-127. (in Russian).
15. Dar'in, A.V., Kalugin, I.A., Rakshun, Ia.V. Scanning X-ray microanalysis of bottom sediment samples using synchrotron radiation from VEPP-3 electron positron accumulator installed in BINP. *Izvestiia RAN. Seriya fizicheskaya — Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics series*. 2013. V. 77. № 2. Pp. 204-206. (in Russian).
16. Dar'in, A.V., Rakshun, Ia.V. Measurement procedure in determining the elemental composition of rock samples by X-ray fluorescence analysis using synchrotron radiation from the VEPP-3 electron positron accumulator installed in BINP. *Nauchnyi vestnik NGTU — Scientific Bulletin of Novosibirsk State Technical University*. 2013. № 2(51). Pp. 112-118. (in Russian).
17. Dar'in, A.V., Kalugin, I.A., Rakshun, Ia.V. Application of scanning X-ray microanalysis using synchrotron radiation to study the variations of the elemental composition of the annual layers in thin sections of Lake Teletskoye sediments. *Izvestiia RAN. Seriya fizicheskaya — Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics series*. 2013. V. 77. № 2. Pp. 210-211. (in Russian).

Авторы публикации

Разумовский Лев Владимирович — ведущий научный сотрудник Института водных проблем Российской академии наук (Москва), доктор географических наук

Калугин Иван Александрович — ведущий научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирск), доктор геолого-минералогических наук

Дарьин Андрей Викторович — старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирск), кандидат геолого-минералогических наук

Шелехова Татьяна Станиславовна — старший научный сотрудник Института геологии Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск), кандидат географических наук

Разумовский Викентий Львович — аспирант Института водных проблем Российской академии наук (Москва)

Authors of the publication

Lev V. Razumovsky — Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences (Moscow)

Ivan A. Kalugin — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Novosibirsk)

Andrey V. Daryin — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Novosibirsk)

Tatiana S. Shelekhova — Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk)

Vikenty L. Razumovsky — Post-graduate student, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences (Moscow)