

## **Изменение природной среды северо-востока Республики Бурятия в пост-оптимальный период голоцена: первые результаты**

Е. В. БЕЗРУКОВА<sup>1,2</sup>, А. А. АМОСОВА<sup>1</sup>, В. М. ЧУБАРОВ<sup>1</sup>, А. Л. ФИНКЕЛЬШТЕЙН<sup>1</sup>, Н. В. КУЛАГИНА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А  
E-mail: bezrukova@igc.irk.ru

<sup>2</sup> Институт археологии и этнографии СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 17

<sup>3</sup> Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Статья поступила 26.10.2016

Принята к печати 25.01.2017

### **АННОТАЦИЯ**

Результаты геохимического и палинологического анализа высокого временного разрешения донных отложений оз. Баунт ( $55^{\circ}11'15''$  с. ш. и  $113^{\circ}01'45''$  в. д.), расположенного в зоне сплошной многолетней мерзлоты, позволили впервые реконструировать изменения природной среды и климата севера Бурятии в пост-оптимальное время голоцена. На протяжении последних ~7000 лет природно-климатические условия северо-востока Республики Бурятия не оставались однородными. Относительно теплый и сухой климат здесь имел место в конце оптимального периода голоцена около 6900–6000 лет назад (л. н.) Позднее, около 6000–1500/1000 л. н. произошло похолодание, активизация многолетней мерзлоты, затухание химического выветривания. Климат последних 1500–1000 лет оказался в целом холоднее современного. Полученные индексы природной среды имеют разные значения в осадках относительно теплых и холодных интервалов и отражают условия седиментации, которые контролировались климатическими изменениями.

**Ключевые слова:** Северная Бурятия, оз. Баунт, геохимические и палинологические индексы, палеоэкологические реконструкции, природная среда, средний-поздний голоцен.

Одной из важнейших экологических проблем человечества является изменение климата. Проведенные в мире исследования изменения природной среды и климата голоцена стали основой для создания моделей будущего глобального изменения климата, ко-

торые пока далеки от совершенства и нуждаются в улучшении, что, в свою очередь, требует все большего количества точных региональных экологических реконструкций состояния природной среды и климата прошлого. Особенно важен для таких исследо-

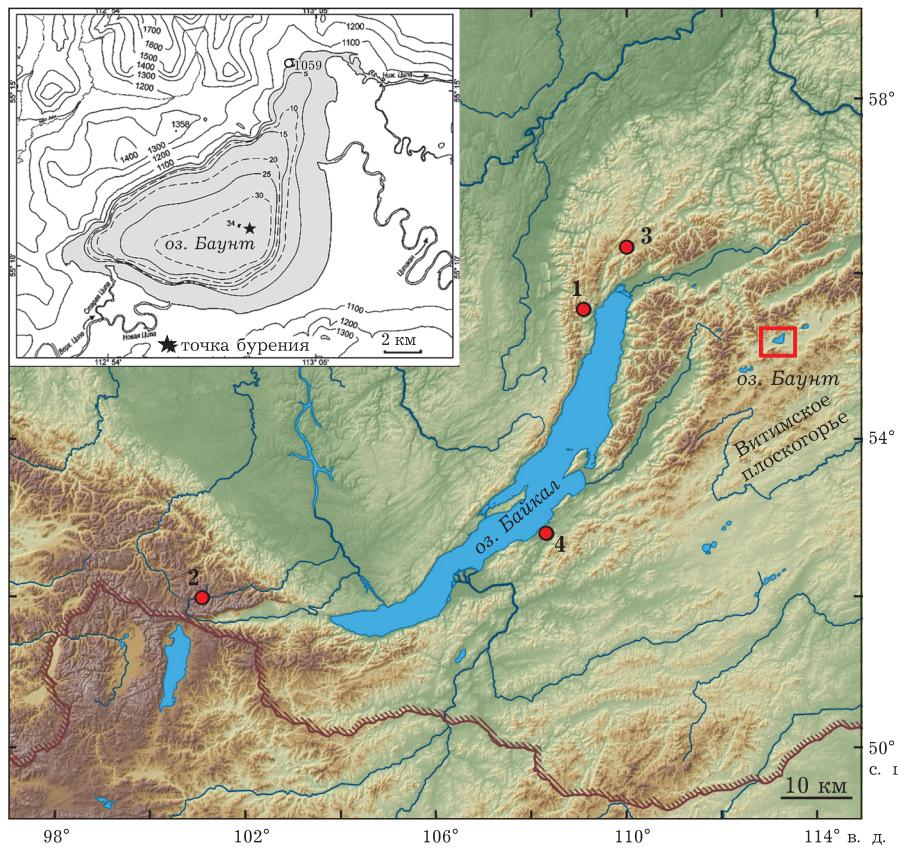


Рис. 1. Картосхема положения оз. Баунт в пределах Байкальского региона и его карта с результатами батиметрических исследований (левая панель). Звездочкой отмечена точка бурения керна Бнт-13; 1 – торфяник Окунайка, 2 – озеро ЕСМ-1; 3 – торфяник Озерный

ваний пост-оптимальный период голоцен (современная фаза текущего межледникового периода [Nesje, Dahl, 1993], начался около 6000–5000 л. н.), поскольку граничные условия климатической системы Земли существенно не изменились по сравнению с глубокими сдвигами в ледниково-межледниковые переходы.

Баунтовская или Ципо-Ципинская котловина находится на территории Баунтовского административного района Республики Бурятия (рис. 1). Особенностью котловины является ее высокое гипсометрическое положение – 1050–1200 м над ур. м. В геолого-геоморфологическом отношении она представляет собой один из элементов северо-восточного крыла системы впадин Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). В котловине и бассейне оз. Баунт преобладают неоген-четвертичные отложения (пески, глины, гравий) [Рябенко и др., 1964], голоценовые отложения представлены озерными, речными и торфяными

осадками. Климатические особенности района [Жуков, 1960] обусловлены сплошным распространением многолетней мерзлоты [Васеева и др., 1967], а мерзлотные процессы, такие как криогенное выветривание, солифлюкция, склоновая эрозия, речной смыв, в настоящее время являются важными регуляторами физической эрозии и транспортировки отложений, оказывая влияние на состав озерных отложений [Бачурин, Вавилова, 1967].

Имеющиеся реконструкции природной среды и климата БРЗ показали, что в этом регионе пост-оптимальный период голоцен наступил около 6500 л. н. [Takahara et al., 2000; Безрукова и др., 2005; Demske et al., 2005; Shichi et al., 2007]. До настоящего времени изучение палеоэкологических условий Байкальской рифтовой зоны проводилось главным образом для позднего плейстоцена и всего голоцена [Takahara et al., 2000; Безрукова, 2005; Demske et al., 2005; Tarasov et al.,

2005, 2007, 2009; Shichi et al., 2007, 2009; Bezrukova et al., 2010]. Наиболее детальные записи природной среды голоцене Байкальского региона получены из торфяных отложений [Takahara et al., 2000; Безрукова и др., 2005, 2008, 2011, 2014; Shichi et al., 2009] и малых озер, расположенных в южной и центральной частях БРЗ [Скляров и др., 2010; Решетова и др., 2013; Солотчина и др., 2014]. Северные районы данной территории до настоящего времени практически не изучены [Федотов и др., 2016].

Цель настоящего исследования – реконструкция природной среды и климата северо-восточной части Республики Бурятия (БРЗ) в пост-оптимальный период голоцена на основе геохимических и палинологических индексов донных отложений оз. Баунт, расположенного 200 км восточнее северной оконечности оз. Байкал в зоне сплошной многолетней мерзлоты.

Палеоэкологических реконструкций в регионе исследования с использованием геохимических записей из донных отложений озер не проводилось. Полученные результаты являются первым вкладом в познание истории природной среды и климата северо-восточной части Байкальского региона в пост-оптимальный период голоцена.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Донные отложения оз. Баунт пробурены в 2013 г. гравитационным керноотборным устройством ударно-канатного типа производства UWITEC (Австрия). Длина керна Бнт-13

составила 143 см. Для оценки его возраста из основания керна получена одна дата методом радиоуглеродного анализа с ускорительной масс-спектрометрией (AMS<sup>14</sup>C) по общему органическому веществу в радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша). Возраст отложений на глубине 143 см составил  $5990 \pm 35$  лет (Poz-58395). Это значение возраста приведено в соответствие с календарным возрастом с использованием калибровочной кривой INTCAL 13 [Ramsey, 2009] и составило  $6834 \pm 46$  лет. Возрастная модель для керна Бнт-13 построена методом экстраполяции значения возраста основания керна вверх с допущением о примерном постоянстве скоростей седиментации, что не противоречит почти его однородному литологическому составу. Данная модель использована для оценки вероятного возраста границ региональных палеоэкологических событий и их корреляции с ключевыми записями природной среды Северного полушария. В свою очередь, корреляция полученной с уже известными региональными и глобальными записями природной среды позволяет проверить пригодность возрастной модели для керна из оз. Баунт.

Осадки в керне представлены диатомовыми илами, которые в интервале 60–143 см от его поверхности обогащены алевритом и мелким песком. Качественный минеральный состав терригенной составляющей осадков определяли в ИГХ СО РАН методом рентгеноструктурного анализа (PCA) на порошковом дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Germany). Проанализировали высущенные

**Относительные стандартные отклонения градуировочных характеристик и диапазоны содержания в градуировочных и анализируемых образцах**

Компонент	Диапазон со- держаний в исследуемых образцах, мас. %	Диапазон со- держаний в градуировоч- ных образцах, мас. %	$S_r$ , отн. %	Компонент	Диапазон со- держаний в исследуемых образцах, мас. %	Диапазон со- держаний в градуировоч- ных образцах, мас. %	$S_r$ , отн. %
Na <sub>2</sub> O	1,14–1,98	0,53–3,11	5,3	K <sub>2</sub> O	1,67–2,19	1,13–3,56	1,4
MgO	1,34–1,78	0,48–11,70	1,6	CaO	1,33–1,52	0,41–17,76	2,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,72–14,81	5,03–18,20	1,7	TiO <sub>2</sub>	0,47–0,62	0,27–0,98	1,4
SiO <sub>2</sub>	53,28–58,83	25,07–70,54	0,7	MnO	0,21–0,33	0,04–0,50	4,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15–0,67	0,13–1,82	2,8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,33–8,21	4,62–10,59	0,8

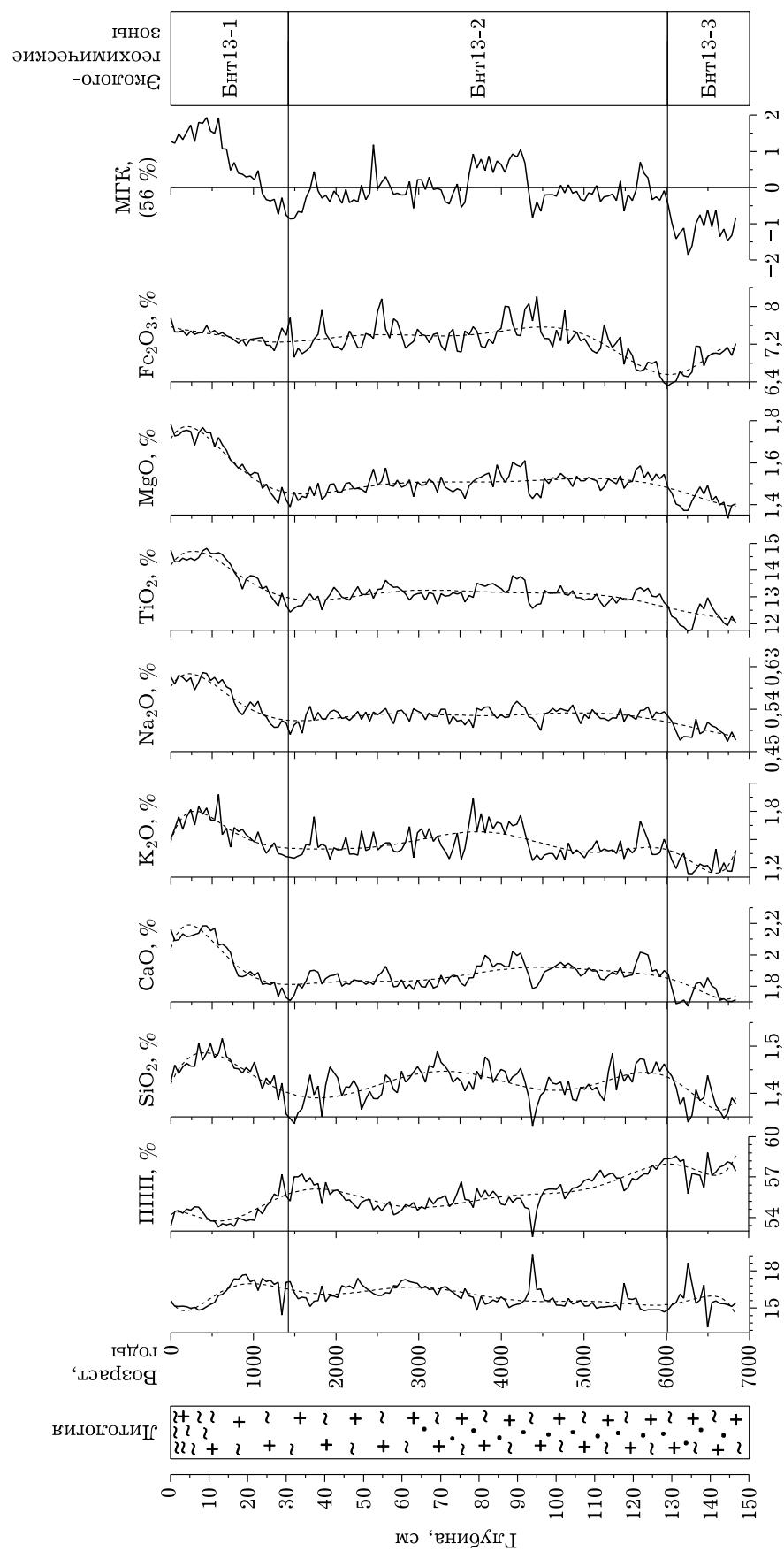


Рис. 2. Изменение выбранных геохимических показателей и результаты анализа МТК в зависимости от глубины в керне БНГ-13 и возраста отложений

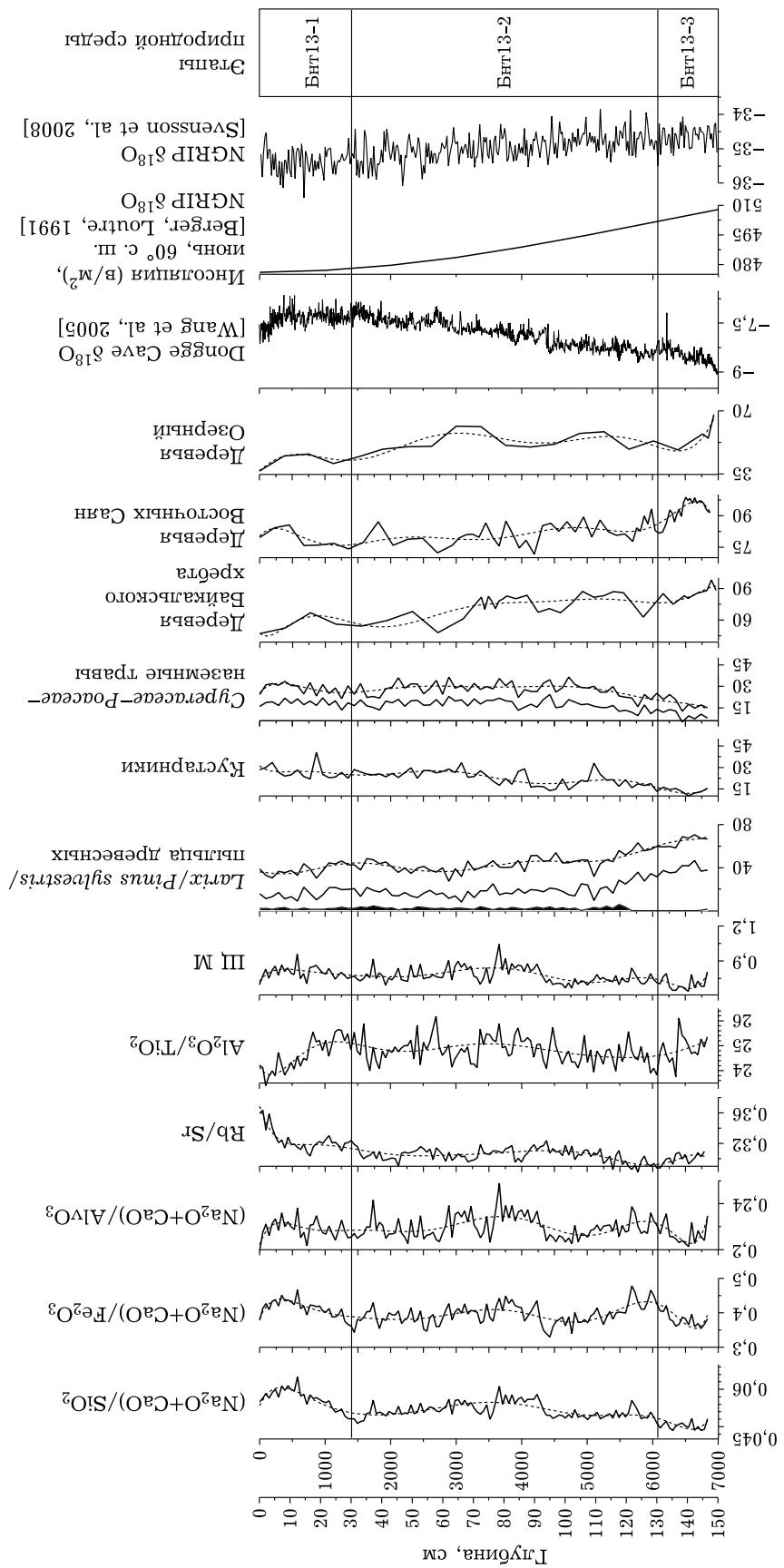


Рис. 3. Обобщённый график вариаций геохимических и палинологических индексов в осадках керна Бнт-13 в сравнении с  $\delta^{18}\text{O}$  записью из Гренландии как индикатором температуры воздуха Северного полушария [Svensson et al., 2008], с  $\delta^{18}\text{O}$  из сталагмитов Китая как показателем интенсивности ВАМ [Wang et al., 2005], с уровнем летней инсолиации Северного полушария на  $60^\circ$  с. ш. [Berger, Loutre, 1991].

порошковые образцы из разных частей керна (глубина 2, 15, 59 и 117 см). Они имеют идентичный качественный минеральный состав. Уверенно определяются следующие минералы и минеральные виды: кварц, альбит, ортоклаз, клинохлор, мусковит и кордиерит. Карбонатных минералов не обнаружено.

Методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) изучили каждый сантиметр осадка из керна Бнт-13. Содержания основных породообразующих элементов определяли с применением оригинальной методики [Амосова, 2015; Amosova, 2016]. Образцы гомогенизировали сплавлением с метаборатом лития в платиновых тиглях в электропечи TheOX (Claisse, Канада) при температуре 1050 °С. После этого формировали диск диаметром 10–12 мм. Измерения выполняли на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker AXS, Германия). Для построения градуировочных уравнений использовали стандартные образцы осадочных горных пород ИГХ СО РАН: БИЛ-1, БИЛ-2, СГХ-1, СГХ-3, СГХ-5, СГХМ-1, СГХМ-2, СГХМ-3, СГХМ-4 и СА-1. В таблице приведены диапазоны содержаний определяемых породообразующих оксидов в исследуемых образцах керна донных отложений оз. Баунт и градуировочных образцов, а также величины относительного стандартного отклонения градуировочных уравнений Sr, характеризующие погрешность рентгенофлуоресцентного анализа. Содержание Rb и Sr определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным изучением, значения потерь при прокаливании (ППП) – гравиметрическим методом [Heiri et al., 2001]. Результаты РФА использовали для анализа методом главных компонент (МГК) в программе Past 3.03 [Hammer et al., 2001]. МГК позволил сгладить изменчивость экологических данных. Найденные новые показатели являются линейным сочетанием исходных показателей (рис. 2). Изменение отношения  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ ,  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Rb}/\text{Sr}$ , щелочной модуль (ЩМ) ЩМ =  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  в сравнении с вариациями региональных палинологических индексов и глобальных климатических записей природной среды продемонстрированы на рис. 3.

Расчет процентного соотношения основных групп пыльцевых таксонов (пыльца деревьев, кустарников и наземных трав) проводили от базовой суммы пыльцы древесных и недревесных растений, принятой за 100 %. Пыльца водных растений, споры птеридофитов и мхов в нее не входили. Относительное обилие пыльцы *Pinus silvestris*, *Larix*, Сурегасеae, Poaceae рассчитывали также от базовой суммы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Основные породообразующие элементы.** В отложениях керна Бнт-13 наблюдаются заметные вариации в содержании породообразующих и некоторых редких элементов (см. рис. 2). Метод главных компонент выделил две статистически значимые оси. Первая ось МГК-1 отвечает за 56 % общей изменчивости, а ось МГК-2 – за 20 % (см. рис. 2). Ось МГК-1 позволяет предполагать три интервала в изменении природных условий в бассейне оз. Баунт за последние 7000 лет (Бнт-1 – Бнт-3).

Бнт-13-3 (143–130 см от поверхности керна или около 7000–6000 л. н.) – в осадках нижней части керна отмечены низкие значения большей части оксидов за исключением  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ . Значения ППП имеют относительно высокие величины.

Бнт-13-2 (130–30 см или около 6000–1500/1000 л. н.) – в этом интервале керна наблюдается постоянное снижение значения  $\text{SiO}_2$ . Другая группа оксидов ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) показывает незначительное, но постоянное повышение значений (см. рис. 2). Криевые таких оксидов как  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , в этом интервале керна имеют различные тенденции. Сначала они несколько повышаются от основания интервала вверх, достигая максимума в интервале 90–75 см. Выше их величины начинают снижаться до минимума у верхней границы этого интервала – 30 см.

Бнт-13-16 (30–5 см или около 1500/1000–200/150 л. н.) – в отложениях этой части керна отмечен тренд снижения величин ППП и  $\text{SiO}_2$ . Значения  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  заметно повышаются от основания интервала вверх (см. рис. 2).

Бнт-13-1а (5–0 см) – для самой верхней части отложении керна характерно незначительное повышение величин ППП, продолжающееся повышение  $MgO$ ,  $TiO_2$  и, наоборот, слабое снижение значений  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  (см. рис. 2).

**Геохимические и палинологические индексы природной среды.** Вариации значений рассчитанных геохимических и палинологических индексов природной среды, обычно применяемых в комплексных палеолимнологических и палеоэкологических исследованиях, приведены на рис. 3. На основе их изменчивости выделены три этапа изменения природных условий в бассейне оз. Баунт.

Бнт-13-3 (143–130 см от поверхности керна или около 7000–6000 л. н.) – в осадках нижней части керна отмечены сначала высокие значения  $(CaO + Na_2O)/SiO_2$ ,  $(CaO + Na_2O)/Fe_2O_3$ ,  $(CaO + Na_2O)/Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3/TiO_2$  и  $Rb/Sr$ , которые затем неоднократно изменяются к верхней границе интервала. Обилие пыльцы древесных растений и *Pinus sylvestris* из керна Бнт-13 в этом промежутке имеет максимальные значения, а пыльцы кустарников и наземных трав, наоборот, минимальные для всего керна (см. рис. 3).

Бнт-13-2 (130–30 см или около 6000–1500/1000 л. н.) – в отложениях этого интервала керна наблюдается постоянное повышение значений  $Rb/Sr$  на фоне постепенного снижения обилия пыльцы *P. sylvestris* и группы древесных, где постоянно присутствует пыльца *Larix*, и повышения – пыльцы кустарников и наземных трав. Величины  $(CaO + Na_2O)/SiO_2$ ,  $(CaO + Na_2O)/Fe_2O_3$ ,  $(CaO + Na_2O)/Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3/TiO_2$  и  $Rb/Sr$  показывают циклическое поведение: немного повышаясь в осадках основания интервала, они затем понижаются на глубине 110–95 см, далее выходят на максимальные величины в интервале 95–75 см и после чего постепенно снижаются к верхней границе интервала.

Бнт-13-1 (30–5 см или около 1500/1000–200/150 л. н.) – в отложениях этой части керна отмечен небольшой рост значений всех геохимических индексов. Обилие пыльцы древесных растений продолжает снижаться.

Бнт-13-1а (5–0 см или последние 200/150 л. н.) – для самой верхней части отложений керна Бнт-13 характерно повышение значений  $Rb/Sr$ ,  $Al_2O_3/TiO_2$  и пыльцы дре-

весных. Величины  $(CaO + Na_2O)/SiO_2$ ,  $(CaO + Na_2O)/Fe_2O_3$ ,  $(CaO + Na_2O)/Al_2O_3$  в это время понижаются.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные новые геохимические записи изменения природной среды северных районов Республики Бурятия имеют среднее временное разрешение около 48 лет. Палинологические – около 100 лет. Авторы сравнили данные записи с известными региональными летописями динамики изменения природной среды пост-оптимального времени голоцен, полученными из озер и торфяников Восточной Сибири. Использовали показатели по оз. ESM-1 из Восточного Саяна [Mackay et al., 2012] и торфяникам Озерный [Безрукова и др., 2012] и Окунайка [Безрукова и др., 2008]. Все выбранные объекты, как и оз. Баунт, находятся в суровых условиях высокогорий и многолетней мерзлоты, на гипсометрических отметках от 1320 до 1651 м над ур. м. Региональные записи сопоставили с глобальными трендами динамики природной среды Северного полушария (см. рис. 3). Это позволило лучше понять ответ природной среды региона на перестройки глобальной атмосферной циркуляции, оценить корректность расчетной возрастной модели эволюции региональных ландшафтов. Реконструкция природной среды бассейна оз. Баунт проведена от раннего интервала (этап Бнт-13-3) к современности (этап Бнт-13-1а).

Этап Бнт-13-3 (около 6900–6000 л. н.). Высокое содержание пыльцы древесных растений, в составе которых доминирует пыльца сосны (см. рис. 3), предполагает преобладание в бассейне озера лесной растительности среднетаежного характера со значительным участием *P. sylvestris*, которая в настоящее время в котловине оз. Баунт встречается редко и только на вершинах песчаных повышений в наиболее теплых и сухих условиях. Следовательно, климат в бассейне оз. Баунт около 7000–6000 л. н. оказался значительно теплее современного, что обеспечило более широкое распространение теплых и сухих мест обитания для сосны. Скорее всего, они представляли собой песчаные возвышенности или поля, как в настоящее время. Современ-

ная растительность бассейна и котловины оз. Баунт резко отличается от реконструированной. Здесь доминируют северо-таежные леса из *L. gmelinii*. Следовательно, природные условия 7000–6000 л. н. значительно отличаются от современными. Расширение присутствия сосны вместо лиственницы подразумевает потепление, протаивание и снижение верхнего слоя многолетней мерзлоты. Лесные экосистемы с преобладанием лиственницы с кедровым стлаником и ерником растут в районах, где сумма активных температур выше 10 °C составляет 800–1000 °C [Пешкова, 1985; Байкал, 1993], тогда как для сосны необходима сумма не менее 1200 °C. Она плохо переносит резко континентальный климат и не встречается в местах с длительной или интенсивной сезонной мерзлотой почв. Известно, что песчаные почвы в сосновых лесах промерзают обычно на меньшую глубину и сохраняют значительную водопропускную способность. Благодаря этому, а также более медленному и продолжительному снеготаянию, талая вода поступает в почву, а не скатывается по поверхности склонов. Кроме того, породы с глубокой корневой системой, к которым относится сосна, обеспечивают более интенсивную инфильтрацию вод, способствуя повышению подземной составляющей стока [Побединский, 2013]. В горных условиях расширение лесной растительности приводит к усилению задернованности склонов, что снижает селевую активность. В целом преобладание внутристочного стока атмосферной влаги летом, талых вод весной, сокращение частоты и мощности склоновой эрозии должно способствовать сносу и поступлению в озеро относительно меньшего объема крупного терригенного обломочного материала как органического, так и минерального.

Значения большей части породообразующих оксидов в отложениях этого этапа невысокие, за исключением  $\text{SiO}_2$  (см. рис. 2). Основные оксиды, такие как  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ , обычно рассматриваются как хорошо растворимые и подвижные, которые активнее извлекаются в процессе химического выветривания и достаточно высокого уровня атмосферных осадков. И, наоборот,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  являются менее растворимыми и более устойчивыми к выветриванию [Mackereth,

1966; Engstrom, Wright, 1984]. Невысокие значения отношений  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{SiO}_2$  и  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Fe}_2\text{O}_3$  в записях начального этапа формирования изученной толщи (см. рис. 3) могут свидетельствовать об относительно низком уровне атмосферных осадков и пониженном стоке воды в озеро, что находится в соответствии с реконструированными выше природно-климатическими условиями. Значения  $\text{Rb}/\text{Sr}$  могут рассматриваться в качестве индикатора химического выветривания [Zhangdong et al., 2006; Wennrich et al., 2014]. С усилением этого процесса большее количество  $\text{Sr}$  вымывается в форме растворенного  $\text{Sr}^{2+}$  из пород и почв и поставляется в водоем, в то время как  $\text{Rb}$  стремится остаться в почвах и породах водосбора озера. В результате отношение  $\text{Rb}/\text{Sr}$  в озерных отложениях понижается. Следовательно, самые низкие значения  $\text{Rb}/\text{Sr}$  около 7000–6000 л. н. в осадках оз. Баунт подтверждают аккумуляцию насыщенных тонкодисперсной органикой отложений в теплых климатических условиях. Об активном химическом выветривании свидетельствуют и пониженные значения щелочного модуля (см. рис. 3). Величины  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  для финала оптимума стремятся к 26,5 ед., также являясь индикатором относительно сухого климата [Акульшина, 1985].

Вся сумма данных подтверждает, что теплый и сухой климат конца регионального оптимума голоцен в бассейне оз. Баунт являлся причиной снижения транспортной энергии рек, способных поставлять более грубый материал в донные отложения озера.

В глобальном масштабе интервал 7000–6000 л. н. характеризовался также высоким уровнем летней инсоляции в этих широтах Северного полушария, активным летним Азиатским муссоном и относительно высокими температурами (см. рис. 3), что, вероятно, и обусловило относительно теплый и сухой климат в бассейне оз. Баунт. Повышенные значения пыльцы древесных растений из отложений водоема соответствуют ее высоким значениям из горных озер и торфяников Восточной Сибири 7000–6000 л. н. и синхронны с относительно теплым климатом этого времени (см. рис. 3).

Этап Бнт-13-2 (около 6000–1500/1000 л. н.) согласно полученным данным характеризо-

вался относительно нестабильными природно-климатическими условиями в бассейне оз. Баунт (см. рис. 2, 3).

Так, около 6000 л. н. произошло снижение относительного обилия пыльцы древесных растений и пыльцы *P. sylvestris*, а также почти синхронное повышение пыльцы *L. gmelini* – породы, хорошо приспособленной к континентальному климату. Она выдерживает годовые амплитуды температур до 55 °С, нетребовательна к теплу, переносит морозы, заморозки и высокие температуры, терпима и к избытку, и к недостатку влаги. Широко распространена на мелких, щебнистых или избыточно влажных холодных (длительно сезонно-мерзлотных) почвах [Добрецова, 1962]. Следовательно, смена доминант пыльцевых спектров в отложениях оз. Баунт означала похолодание, которое привело к расширению площадей многолетней мерзлоты и повышению ее верхней границы, сокращению теплых и сухих (песчаных) мест обитания. А повышение обилия пыльцы *Cyperaceae* и *Poaceae* могло явиться следствием усиления заболоченности берегов озера и долин рек из-за снижения испарения в прохладные летние сезоны. На территориях сплошного распространения многолетней мерзлоты обычно формируется особенный мерзлотный (криогенный) тип водного режима. Его особенность – наличие на небольшой глубине постоянно мерзлого водоупорного горизонта. Вследствие этого, несмотря на небольшое количество осадков, в теплое время года почва пересыщена влагой. Талая вода скатывается преимущественно по поверхности склонов в озеро [Побединский. 2013]. В более холодных условиях снижается густота растительности склонов, что активизирует склоновые, в том числе селевые процессы. В целом преобладание поверхностного стока атмосферной влаги летом, талых вод весной, повышение частоты и мощности склоновой эрозии должно способствовать сносу и поступлению в озеро большего объема крупного терригенного обломочного материала органического и минерального происхождения.

Подобный комплекс природно-климатических условий должен способствовать снижению химического выветривания. И это отражено в повышающихся значениях ЩМ, Rb/Sr. Заметный тренд повышения более

устойчивых к выветриванию  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и снижение значений  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  и  $\text{SiO}_2$  указывает на повышенное поступление в воды озера минерального обломочного материала в более холодных и гумидных условиях. Однако повышение по сравнению с предыдущим интервалом содержания более растворимых и подвижных  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  в осадках, сформированных около 6000–1500/1000 л. н., свидетельствует об обратном.

Причина такого тренда для  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  может объясняться расшифровкой смысла “гумидности” климата для бассейна оз. Баунт. Сумма аналитических данных для интервала около 6000–1500/1000 л. н. позволяет утверждать, что его гумидность, скорее всего, выражалась в повышении объемов не атмосферных осадков, а поступавшей в озеро почвенной влаги преимущественно через поверхностный сток. Тогда, в условиях пустыни и относительного похолодания, но имевшего место в современный межледниковый период, такой характер стока воды в озеро мог обеспечивать значительный снос легкорастворимых основных оксидов. Однако преобладание поверхностного стока атмосферной влаги и активные склоновые процессы одновременно увеличивали транспортную энергию водотоков, способных поставлять в озеро очень существенный объем обломочных фракций, содержащих повышенные объемы менее растворимых оксидов и элементов. Последние ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) поступали, по-видимому, в гораздо более значительном по сравнению с предыдущим этапом объеме. В результате значения  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ ,  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  для интервала 6000–1500/1000 л. н. изменились незначительно, показывая, однако, относительные минимумы около 1500 л. н. (см. рис. 3).

Тренд постепенного похолодания, активизации многолетней мерзлоты в бассейне оз. Баунт, усиления заболоченности берегов озера и долин рек, повышения мощности склоновой эрозии, способствовавшей сносу и поступлению в озеро большего объема терригенного обломочного материала и органического и минерального происхождения, находился в соответствии с общим прогрессирующим похолоданием климата Северного полушария (см. рис. 3), снижением уровня

озер в Северном Китае [Liu et al., 2016], подвижкой горных ледников Северного полушария [Mayewski et al., 2004].

Этап Бнг-13-1 (последние 1500/1000 л. н.). Реконструкция природно-климатических условий Северного полушария в последние 2000 лет показала, что этот интервал оказался холоднее современного [Cane et al., 2007; Seppa et al., 2009; Wanner et al., 2011; Klaputa et al., 2016]. Исключение составили относительно теплый интервал около 1000 л. н. (Средневековая климатическая аномалия) и современное потепление [Moberg et al., 2005; Vinther, 2011].

Полученные записи показывают, что до начала этапа Бнг-13-1б около 1500–1000 л. н. продолжалось сокращение лесной растительности в бассейне озера, что отражено в снижении обилия пыльцы древесных растений, совпавшее с деградацией лесной растительности в высокогорной зоне Байкальского хребта, Восточного Саяна и Станового нагорья (см. рис. 3). Сокращение лесной растительности в очень чувствительных к изменениям климата горных районах с развитием сплошной многолетней мерзлоты могло обусловливаться кратковременным похолоданием глобального климата около 1300–1000 л. н. [Mayewski et al., 2004; Nieto-Moreno et al., 2011].

Несколько повышавшиеся позднее 1500 л. н. значения  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ ,  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Fe}_2\text{O}_3$ , немного понижавшиеся –  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  отражают повышенное поступление в озеро с водосбора крупного минерального терригенного обломочного материала. Заметно возрастающие значения  $\text{Rb}/\text{Sr}$  (см. рис. 3), по-прежнему повышенные – ШМ, также свидетельствуют о затухании химического выветривания [Zhangdong et al., 2006; Wennrich et al., 2014]. Величины  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  в это время стремятся к 24 ед., являясь индикатором некоторого усиления гумидности климата [Акульшина, 1985]. Снижающееся содержание органического вещества в водах озера (ППП) также поддерживает реконструкцию продолжающегося похолодания и/или усиление сноса в озеро аллюхтонного минерагенного материала.

Усиление сноса в озеро обломочного, преимущественно минерального дегрита, могло происходить из-за еще большей, чем в предыдущий интервал, частоты и мощности

склоновой эрозии. Причинами активизации склоновых процессов последнего тысячелетия в бассейне оз. Баунт могли стать общий тренд похолодания климата [Rudaya et al., 2012, 2016] и совпадавшее с ним усиление антропогенного влияния. Последнее пока оценить трудно. В наши дни на территории Бурятии эвенкийское население сосредоточено преимущественно в северных районах, в том числе и в Баунтовском, что определяется, в первую очередь, местными природно-климатическими условиями, которые наиболее соответствуют хозяйствственно-культурному типу эвенков. Известно, что баунтовские эвенки относились к оленным тунгусам и вели кочевой образ жизни. В летний период, с появлением гнуса, выпас оленей проводился на возвышенных и сухих местах, где росло достаточно ягеля, кустарников и широколистных трав. В это время эвенки могли собираться в большие группы и жить на одном месте почти все лето [Гамчан и др., 2005]. Поэтому, нельзя исключать того, что и много веков назад, живя на летних пастбищах, люди могли стать виновниками, например, локальных пожаров. В последние несколько десятилетий пожары уничтожили значительную часть лиственничных лесов на склонах Баунтовской котловины. Ставший редким растительный покров в этот период в условиях потепления климата мог приводить к активному таянию многолетней мерзлоты, что только повышало нестабильность склонов и интенсификацию склоновых процессов. Такие явления задокументированы для альпийской зоны горного массива Восточных Татр около 1200–1000 л. н. [Klaputa et al., 2016], где в это время отложены 85-санитметровые слои грубого несортированного гравия и песка. И такой тип седimentации в этом горном регионе из-за нестабильности склонов продолжается до настоящего времени. Вероятной причиной активизации селевых потоков авторы считают повышенные объемы атмосферных осадков в периоды кратковременных похолоданий последнего тысячелетия. Следовательно, необходимо рассматривать совокупность факторов, воздействовавших на экосистему бассейна озера в последнее тысячелетие: ухудшение общих климатических условий Северного полушария, антропогенное влияние, современное потепление, пожары.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные геохимические и палинологические записи из донных отложений оз. Баунт оказались чуткими индикаторами изменчивости природной среды этого северного региона и позволили впервые реконструировать изменения природной среды и климата северных территорий Бурятии, в том числе условий выветривания в водосборном бассейне озера в пост-оптимальное время голоцене с высоким временным разрешением. Сравнение полученных данных об изменении природной среды и климата с изменением солнечной инсоляции, динамикой летнего Восточно-Азиатского муссона (ВАМ) и средней температурой в северном секторе Атлантического океана показало, что существует отчетливая взаимосвязь между региональными и глобальными изменениями природной среды. Она позволила подтвердить выделение трех этапов в развитии природно-климатических условий в Баунтовской котловине. Относительно теплый и сухой климат здесь имел место в конце оптимального периода голоцене около 6900–6000 л. н., вероятно, из-за повышенной в то время солнечной инсоляции, активного ВАМ и высокой средней температуры северной Атлантики. Более теплые, чем современные условия, обеспечивали деградацию многолетнемерзлых пород, повышенное химическое выветривание и снос в озеро больших объемов насыщенных тонкодисперсной органикой отложений.

Нестабильные природно-климатические условия в бассейне оз. Баунт существовали около 6000–1500/1000 л. н. Сумма геохимических и палинологических индексов свидетельствует о похолодании, активизации многолетней мерзлоты, затухании химического выветривания, повышении частоты и мощности склоновой эрозии, приводившей к сносу и поступлению в озеро большего объема крупного терригенного обломочного материала органического и минерального происхождения.

Климат последних 1500–1000 лет в бассейне оз. Баунт оказался в целом холоднее современного и характеризовался продолжающимся сокращением лесной растительности. Меняющиеся значения геохимических индексов также поддерживают продолжавшееся

похолодание и/или усиление сноса в озеро аллохтонного минерагенного материала. Причин активизации склоновых процессов последнего тысячелетия в бассейне оз. Баунт могло существовать несколько: ухудшение общих климатических условий Северного полушария, химико-физические свойства пород в водосборном бассейне озера, природные и антропогенно-обусловленные пожары, изреженность растительного покрова, современное потепление.

Первые результаты палеоэкологических исследований оз. Баунт показали комплексность факторов, контролировавших региональные природно-климатические условия. Очевидно, что при расшифровке палеоэкологических индексов природной среды в регионах со сплошным развитием многолетнемерзлых пород следует учитывать, возможно, ведущую роль этого процесса в истории формирования ландшафтов, выветривания, транспортировки и сноса вещества в озеро. Полученные индексы природной среды имеют разные значения в осадках относительно теплых и холодных интервалов и отражают условия седиментации, которые контролировались климатическими изменениями.

Авторы благодарны А. А. Щетникову, Е. В. Иванову, М. А. Крайнову, И. А. Филинову за проведение полевых работ на оз. Баунт, описание его литологического строения, Е. В. Каневой за определение минерального состава отложений. Авторы выражают искреннюю благодарность П. П. Летуновой за помощь в изучении палинспектров части керна в керне Бнт-13. Работа выполнена с использованием научного оборудования Центров коллективного пользования “Изотопно-геохимических исследований” Института геохимии СО РАН, “Геодинамика и геохронология” Института земной коры СО РАН и “Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения” Института ядерной физики СО РАН. Особенную благодарность авторы приносят команде международного Байкал-Хоккайдо Археологического проекта (руководитель профессор А. Вебер, Канада), без чьей поддержки у нас не оказалось бы возможности приобрести буровую установку UWITEC и реализовать проект бурения озер Забайкалья. Работа выполнена при финансовой поддержке научной программы фундаментальных исследований IX.127.1. ФАНО России, проектов РНФ № 16-17-10079

(РФА), РНФ №14-50-00036 (минеральный состав),  
РФФИ № 15-05-01644 и 16-35-00235.

## ЛИТЕРАТУРА

- Акульшина Е. П. Глинистое вещество и осадочный ру-  
догенез. Новосибирск: Наука, 1985. 244 с.
- Амосова А. А., Пантеева С. В., Татаринов В. В., Чуба-  
ров В. М., Финкельштейн А. Л. Рентгенофлуорес-  
центное определение основных породообразующих  
элементов из образцов массой 50 и 110 мг // Ана-  
литика и контроль. 2015. № 19. С. 130–138.
- Байкал (атлас) / под ред. Г. И. Галазий. М.: Изд-во Фе-  
деральной службы геодезии и картографии России,  
1993. 160 с.
- Бачурин Г. В., Вавилова В. А. Речной сток // Атлас  
Забайкалья. М.: Иркутск: ГУГК, 1967. С. 50–51.
- Безрукова Е. В., Кривоногов С. К., Абзаева А. А., Вер-  
шинин К. Е., Летунова П. П., Орлова Л. А., Такаха-  
ра Х., Миеши Н., Накамура Т., Крапивина С. М.,  
Кавамуро К. Ландшафты и климат Прибайкалья в  
позднеледниковые и голоцене по результатам ком-  
плексных исследований торфяников // Геол. и гео-  
физ. 2005. № 1. С. 21–33 [Bezrukova E. V., Krivono-  
gov S. K., Abzaeva A. A., Vershinin K. E., Letuno-  
va P. P., Orlova L. A., Takahara H., Miyoshi N.,  
Nakamura T., Krapivina S. M., Kawamuro K. Land-  
scapes and climate of the Baikal region in the Late  
Glacial and Holocene (from results of complex studies  
of peat bogs) // Rus. Geol. Geophys. 2005. Vol. 46.  
P. 108–118].
- Безрукова Е. В., Белов А. В., Летунова П. П., Абзае-  
ва А. А., Кулагина Н. В., Фишер Е. Э., Орлова Л. А.,  
Шейфер Е. В., Воронин В. И. Биостратиграфия тор-  
фяных отложений и климат северо-западной части  
горного обрамления озера Байкал в голоцене // Там  
же. 2008. № 6. С. 547–558 [Bezrukova E. V., Belov A. V.,  
Letunova P. P., Abzaeva A. A., Kulagina N. V., Fi-  
sher E. E., Orlova L. A., Sheifer E. V., Voronin V. I.  
Peat biostratigraphy and Holocene climate in the  
northwestern mountain periphery of Lake Baikal // Ibid.  
2008. Vol. 49, N 6. P. 413–421].
- Безрукова Е. В., Тарасов П. Е., Кулагина Н. В., Абзае-  
ва А. А., Летунова П. П., Кострова С. С. Палинологиче-  
ское исследование донных отложений озера  
Котокель (район озера Байкал) // Там же. 2011. № 4.  
С. 586–595 [Bezrukova E. V., Tarasov P. E., Kulagina  
N. V., Abzaeva A. A., Letunova P. P., Kostrova S. S.  
Palynological study of Lake Kotokel' bottom sedi-  
ments (Lake Baikal region) // Ibid. 2011. Vol. 52.  
P. 458–465].
- Безрукова Е. В., Андерсон Д. Дж., Виньковская О. П.,  
Харинский А. В., Кулагина Н. В. Изменение расти-  
тельности и климата в котловине Большого Иняп-  
туцкого озера (Северо-Байкальское нагорье) в  
среднем – позднем голоцене // Археология, этно-  
графия и антропология Евразии. 2012. № 3. С. 2–11  
[Bezrukova E. V., Anderson D. G., Vinkovskaya O. P.,  
Kharinsky A. V., Kulagina N. V. Vegetation and cli-  
mate changes in the Bolshoe Inyaptukskoe Lake basin  
(North Baikal Plateau) in the middle and late Holocene // Archaeology Ethnology Anthropology of Eurasia. 2012. Vol. 40, N 3. P. 2–11].
- Безрукова Е. В., Белов А. В., Летунова П. П., Кулаги-  
на Н. В. Отклик природной среды Ангаро-Ленского  
плато на глобальные изменения климата в голоце-  
не // Геол. и геофиз. 2014. № 4. С. 594–604. [Bezrukova  
E. V., Letunova P. P., Belov A. V., Kulagina N. V.  
The response of the environment of the Angara-Lena  
plateau to global climate change in Holocene // Rus.  
Geol. Geophys. 2014. Vol. 55, N 4. P. 463–471].
- Васеева Г. Л., Колдышева Р. Я., Орлова Л. М. Распро-  
странение многолетней мерзлоты // Атлас Забайка-  
лья. Иркутск: ГУГК, 1967. 73 с.
- Гамчан А. А., Зотов А. П., Козулин В. Н., Миронова Е. Д.  
Баунтовский эвенкийский район. Улан-Удэ: Изд-во  
“Бэлгэ”, 2005. 96 с.
- Добрецова Л. А. Березовые леса // Растительность бас-  
сейна реки Вилюя / Тр. Ин-та биол. ЯФ СО АН СССР /  
под ред. И. П. Щербакова. М.; Л.: Изд-во АН СССР,  
1962. 135 с.
- Жуков В. М. Климат Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бу-  
рят. кн. изд-во, 1960. 187 с.
- Пешкова Г. А. Растительность Сибири (Предбайкалье и  
Забайкалье) Новосибирск: Наука, 1985. 144 с.
- Побединский А. В. Водоохранная и почвозащитная роль  
лесов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 208 с.
- Скляров Е. В., Солотчина Э. П., Вологина Е. Г., Игнато-  
ва Н. В., Изох О. П., Кулагина Н. В., Склярова О. А.,  
Солотчин П. А., Столповская В. Н., Ухова Н. Н., Фе-  
доровский В. С., Хлыстов О. М. Детальная летопись  
климата голоцена из карбонатного разреза солено-  
го озера Цаган-Тырм (Западное Прибайкалье) //  
Геол. и геофиз. 2010. № 3. С. 303–328 [Sklyarov E. V.,  
Solotchina E. P., Vologina E. G., Ignatova N. V.,  
Izokh O. P., Kulagina N. V., Sklyarova O. A., Solot-  
chin P. A., Stolpovskaya V. N., Ukhova N. N., Fedo-  
rovsky V. S., Khlystov O. M. Detailed Holocene climate  
record from the carbonate section of saline Lake  
Tsagan-Tyurm (West Baikal area) // Rus. Geol. Geophys.  
2010. Vol. 51, N 3. P. 237–258].
- Солотчина Э. П., Скляров Е. В., Солотчин П. А., Вологи-  
на Е. Г., Склярова О. А. Минералогия и кристалло-  
химия карбонатов голоценовых осадков озера Киран  
(Западное Забайкалье): связь с палеоклиматом //  
Там же. 2014. № 4. С. 605–618. [Solotchina E. P.,  
Sklyarov E. V., Solotchin P. A., Vologina E. G., Sklyarova  
O. A. Mineralogy and crystal chemistry of carbo-  
nates from the Holocene sediments of Lake Kiran  
(western Transbaikalia): connection with paleoclimate //  
Ibid. 2014. Vol. 55, N 4. P. 472–482].
- Решетова С. А., Безрукова Е. В., Паниззо В., Хендер-  
сон Э., Птицын А. Б., Дарьин А. В., Калугин И. А.  
Растительность Центрального Забайкалья в поздне-  
ледниковые и голоцене // Геогр. и прир. ресурсы.  
2013. № 2. С. 110–117 [Reshetova S. A., Ptitsyn A. B.,  
Bezrukova E. V., Panizzo V., Henderson A., Da-  
ryin A. V., Kalugin I. A. Vegetation of Central Trans-  
baikalia in the Late Glacial period and Holocene //  
Geogr. Natural Res. 2013. Vol. 34, N 2. P. 172–178].
- Рябенко В. Е., Сидоренко А. В., Флоренсов Н. А. Геоло-  
гия СССР. М.: Недра, 1964. Т. 35: Бурятская АССР.  
Ч. 1: Геологическое описание. 628 с.
- Федотов А. П., Воробьева С. С., Бондаренко Н. А., Том-  
берг И. В., Жученко Н. А., Сезько Н. П., Степано-  
ва О. Г., Мельгунов М. С., Иванов В. Г., Железняко-  
ва Т. О., Шабурова Н. И., Чечеткина Л. Г. Влияние

- природных и антропогенных факторов на развитие удаленных озер Восточной Сибири за последние 200 лет // Геол. и геофиз. 2016. № 2. С. 394–410 [Fedotov A. P., Vorobyeva S. S., Bondarenko N. A., Tomberg I. V., Zhuchenko N. A., Sezko N. P., Stepanova O. G., Melgunov M. S., Ivanov V. G., Zheleznyakova T. O., Shaburova N. I., Chechetkina L. G. The effect of natural and anthropogenic factors on the evolution of remote lakes in East Siberia for the last 200 years // Rus. Geol. Geophys. 2016. Vol. 57. P. 316–328].
- Amosova A. A., Panteeva S. V., Chubarov V. M., Finkelstein A. L. Determination of major elements by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry and trace elements by inductively coupled plasma mass spectrometry in igneous rocks from the same fused sample (110 mg) // Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy. 2016. Vol. 122. P. 62–68.
- Berger A., Loutre M. F. Insolation values for the climate of the last 10 million years // Quaternary Sci. Rev. 1991. Vol. 10, N 4. P. 297–317.
- Bezrukova E. V., Tarasov P. E., Solovieva N., Krivonogov S. K., Riedel F. Last glacial-interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2010. Vol. 296. P. 185–198.
- Cane R. E., Oppo D. W., McManus J. F. Amplitude and timing of temperature and salinity variability in the subpolar North Atlantic over the past 10 k.y. // Geology. 2007. Vol. 35. P. 315–318.
- Demske D., Heumann G., Granoszewski W., Nita M., Makarkowa K., Tarasov P. E., Oberhansly H. Late Glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal. // Global and Planetary Change. 2005. Vol. 46. P. 255–279.
- Engstrom D. R., Wright H. E. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change // Lake Sediments and Environmental History. Univ. Minnesota Press, 1984. P. 11–67.
- Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontology Electronica. 2001. Vol. 4, N 1. P. 1–9.
- Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // J. Paleolimnol. 2001. Vol. 25. P. 101–110.
- Kłaptya P., Zasadni J., Pociask-Karteczka J., Gajda A., Franczak P. Late Glacial and Holocene paleoenvironmental records in the Tatra Mountains, East-Central Europe, based on lake, peat bog and colluvial sedimentary data: A summary review // Quaternary Int. 2016. Vol. 415. P. 126–144.
- Liu J., Wang Y., Li T., Tian F., Yang Y. Comparison of grain-size distributions between nearshore sections and a deep-water sediment core from Dali Lake, North China, and inferred Holocene lake-level changes // J. Paleolimnol. 2016. Vol. 56. P. 123–135.
- Mackay A. W., Bezrukova E. V., Leng M. J., Meaney M., Nunes A., Piotrowska N., Self A., Shchetnikov A. A., Shilland E., Tarasov P. E., Wang L., White D. Aquatic ecosystem responses to Holocene climate change and biome development in boreal, central Asia // Quaternary Sci. Rev. 2012. Vol. 41. P. 119–131.
- Mackereth F. J. Some chemical observations on post-glacial lake sediments // Philosophical Transactions of the Royal Soc. 1966. Vol. 250. P. 165–213.
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C., Karlen W., Maasch K. A., Meeker L. D., Meyerson E. A., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-ThorJulip, Rossqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R. R., Steig E. J. Holocene climate variability // Quaternary Res. 2004. Vol. 62. P. 243–255.
- Moberg A., Sonechkin D. M., Holmgren K., Datsenko N. M., Karl W. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low-and high-resolution proxy data // Nature. 2005. Vol. 433. P. 613–617.
- Nesje A., Dahl S. O. Lateglacial and Holocene glacier fluctuations and climate variations in western Norway: A review // Quaternary Sci. Rev. 1993. Vol. 12. P. 255–261.
- Nieto-Moreno V., Martinez-Ruiz F., Giralt S., Jimenez-Espejo F., Gallego-Torres D., Rodrigo-Gamiz M., García-Orellana J., Ortega-Huertas M., de Lange G. J. Tracking climate variability in the western Mediterranean during the Late Holocene: A multiproxy approach // Climate of the Past. 2011. Vol. 7. P. 1395–1414.
- Ramsey Cr. B. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. Vol. 51. P. 337–360.
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D., Frolova L. Middle-Late Holocene environmental history of Kulunda, southwestern Siberia: vegetation, climate and humans // Quaternary Sci. Rev. 2012. Vol. 48. P. 32–42.
- Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Kalganin I., Daryin A., Babich V., Hong-Chun Li, Shilov P. Mid Holocene climate and vegetation in the Northern Altay mountains recorded in Lake Teletskoe // Global and Planetary Change. 2016. Vol. 141. P. 12–24.
- Seppä H., Bjune A. E., Telford R. J., Birks H. J. B., Veski S. Last nine-thousand years of temperature variability in northern Europe // Climate of the Past. 2009. Vol. 5, N 3. P. 523–535.
- Shichi K., Kawamuro K., Takahara H., Hase Y., Maki T., Miyoshi N. Climate and vegetation changes around Lake Baikal during the last 350,000 years // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2007. Vol. 248. P. 357–375.
- Shichi K., Takahara H., Krivonogov S., Bezrukova E., Kashiwaya K., Takehara A., Nakamura T. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region // Quaternary Int. 2009. Vol. 205. P. 98–110.
- Svensson A., Andersen K. K., Bigler M., Clausen H. B., Dahl-Jensen D., Davies S. M., Johnsen S. J., Muscheler R., Parrenin F., Rasmussen S. O., Rothlisberger R., Seierstad I., Steffensen J. P., Vinther B. M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // Climate of the Past. 2008. Vol. 4. P. 47–57.
- Takahara H., Krivonogova S. K., Bezrukova E. V., Miyoshi N., Morita Y., Nakamura T., Hase Y., Shinomiya Y., Kawamuro K. Vegetationhistory of the southeastern and eastern coasts of Lake Baikal from bog sediments since the last interstade // Lake Baikal: A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes. Amsterdam: Elsevier, 2000. P. 108–118.
- Tarasov P., Granoszewski W., Bezrukova E., Brewer S., Nita M., Abzaeva A., Oberhänsli H. Quantitative reconstruction of the last interglacial vegetation and

- climate based on the pollen record from Lake Baikal // Climate Dynamics. 2005. Vol. 25, N 6. P. 625–637.
- Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2007. Vol. 252. P. 440–457.
- Tarasov P., Bezrukova E., Krivonogov S. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel // Climate of the Past. 2009. Vol. 5. P. 285–295.
- Vinther B. M. The Medieval Climate Anomaly in Greenland ice core data // Pages news. 2011. Vol. 19, N 1. P. 26.
- Wang Y., Cheng H., Edwards R. L., He Y., Kong X., An Z., Wu J., Kelly M. J., Dykoski C. A., Li X. The Holocene Asian Monsoon: Links to Solar Changes and North Atlantic Climate // Science. 2005. Vol. 308. P. 854–857.
- Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz P. S., Marketta J. Structure and origin of Holocene cold events // Quaternary Sci. Rev. 2011. Vol. 30, N 21–22. P. 3109–3123.
- Wennrich V., Minyuk P. S., Borkhodoev V. Ya., Francke A., Ritter B., Nowaczyk N., Sauerbrey M. A., Brigham-Grette J., Melles M. Pliocene to Pleistocene climate and environmental history of Lake El'gygytgyn, Far East Russian Arctic, based on high-resolution inorganic geochemistry data // Climate of the Past. 2014. Vol. 10. P. 1381–1399.
- Zhangdong J., Fuchun L., Junji C., Sumin W., Jimin Y. Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting, and catchment weathering // Geomorphology. 2006. Vol. 80. P. 147–163.

## Environmental Changes in the North-East of the Buryat Republic (Russia) Since the Holocene Optimum: First Results

E. V. BEZRUKOVA<sup>1,2</sup>, A. A. AMOSOVA<sup>1</sup>, V. M. CHUBAROV<sup>1</sup>,  
A. L. FINKELSHTEIN<sup>1</sup>, N. V. KULAGINA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS  
664033, Irkutsk, Favorskiy str., 1A  
E-mail: bezrukova@ige.irk.ru

<sup>2</sup> Institute of Archaeology and Ethnography, SB RAS  
630090, Novosibirsk, Acad. Lavrentiev ave., 17

<sup>3</sup> Institute of the Earth Crust, SB RAS  
664033, Irkutsk, Lermontov str., 128

The article presents the first high resolution geochemical and pollen records from sediments of the Lake Baunt ( $55^{\circ}11'15''$  N and  $113^{\circ}01'45''$  E), located within the continuous permafrost zone. Those records were used to obtain the first reconstructions of the environment and climate of the north Buryatia including the weathering conditions in the catchment area in the post-optimal time of Holocene. Over the last 7000 years the environment and climate on the north-east of Buryatia were heterogeneous. A relatively warm and dry climate was reconstructed for the end of the Holocene Climatic Optimum between 6900 and 6000 yrs BP. Later at about 6000–1500/1000 yrs BP the climate became colder that might have led to weakening of chemical weathering processes at more intense permafrost processes. The climate over the last 1500–1000 yrs BP was colder than today. The calculated environmental indices show different values in sediments of relatively warm and relatively cold intervals and reflect sedimentation conditions that have been controlled by climatic changes.

**Key words:** Northern Buryatia, Lake Baunt, geochemical and pollen records, palaeoecological reconstruction, environment, Middle-Late Holocene.