



ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОИЗОТОПЫ И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАЗРЕЗЕ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВЕРХОВОГО БОЛОТА ДУЛИХА (ПРИБАЙКАЛЬЕ): РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ ОЦЕНКИ АТМОСФЕРНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

В. А. Бобров, В. В. Будашкина, М. С. Мельгунов, Г. А. Леонова, А. Е. Мальцев

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

По разрезу монолита торфяника болота Дулиха (Южное Прибайкалье) на основе анализа распределения радиоактивностей ^{210}Pb (природной) и ^{137}Cs (техногенной) проведена стратификация его горизонтов. Определены естественно-радиоактивные (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) и техногенные (^{137}Cs , ^{241}Am) элементы в образцах золы торфа каждого горизонта. Полученные значения удельной активности ^{210}Pb , а также ^{137}Cs , ^{241}Am , поступавших из атмосферы в 1953–1963 гг., использованы для подсчета активности слоев с учетом зольного вещества в каждом из них. Проведено атомно-абсорбционное определение содержания 19 химических элементов в каждом слое. В итоге полученные количества поступления элементов на земную поверхность для второй половины XX в. оказались сопоставимы со значениями для районов Западной Сибири, подвергшихся антропогенному воздействию.

Ключевые слова: торфяники, атмосферные выпадения, минеральное вещество, естественные и техногенные изотопы, микроэлементы.

NATURAL AND TECHNOGENIC RADIOISOTOPES AND MICROELEMENTS IN THE SECTION OF PEAT ACCUMULATION OF THE DULIKHA PEAT BOG (CISBAIKALIA): RETRODICTIONS OF ATMOSPHERIC INPUTS OF MINERAL MATTER

V. A. Bobrov, V. V. Budashkina, M. S. Melgunov, G. A. Leonova, A. E. Maltsev

V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia

Stratification of horizons has been conducted through the monolith section of the Dulikha bog peatland (Southern Cisbaykalia) based on the distribution analysis of ^{210}Pb (natural) and ^{137}Cs (technogenic) radioactivities. Naturally-radioactive (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) and technogenic (^{137}Cs , ^{241}Am) elements in peat ash samples for each horizon have been determined. Found values of specific activity of ^{210}Pb , as well as ^{137}Cs , ^{241}Am ones, coming from the atmosphere during the period of 1953–1963, have been used for calculation of layers considering ash matter in each layer. The atomic absorption determination of 19th chemical elements content in each layer has been conducted. As the result, found values of element inputs to the earth surface for the second half of XX century proved comparable to values for regions of Western Siberia that underwent man-caused impact.

Keywords: peatlands, atmospheric precipitations, mineral matter, naturally and technogenic radioisotopes, microelements.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-2-93-102

Актуальность проблемы глобального загрязнения атмосферы под воздействием антропогенных и техногенных факторов не вызывает сомнений. Атмосферный перенос является одним из основных путей миграции естественных (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) и техногенных (^{137}Cs , ^{241}Am) радиоактивных изотопов, а также элементов – воздушных мигрантов (Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Hg, Pb). Переносимые воздушным путем элементы и радиоизотопы поступают на земную поверхность в составе сухих пылеаэрозольных выпадений и атмосферных осадков (дождь, снег). С геохимической точки зрения представляет интерес изучение загрязнения современной атмосферы.

Степень загрязнения атмосферы можно оценить прямым методом сетевого отбора аэрозолей с последующим определением их химического состава. Современные технические средства позво-

ляют делать это в широких диапазонах массового количества аэрозолей и их дисперсности, что дает возможность получать оценки поступления с ними химических элементов и радиоизотопов [2, 15, 20 и др.].

Снежный покров – прекрасный природный планшет, накапливающий информацию об атмосферных поступлениях химических элементов и радиоизотопов за достаточно протяженный временной интервал – от первого выпадения снега в позднеосенний период до его таяния весной [8, 10, 14, 22, 23, 27]. Его можно с успехом использовать для проведения оценки плотности выпадения радиоизотопов.

Для ретроспективных оценок атмосферного привноса минерального вещества в доиндустриальную эпоху и на протяжении XX в. наиболее подходящими объектами исследований являются

торфяные залежи верховых (омбротрофных) болот, для которых осадочное вещество атмосферных выпадений – основной источник поступления химических элементов [6, 24]. Исследование элементного состава стратифицированных торфяных залежей верховых болот позволяет количественно оценить атмосферное поступление химических элементов и радиоизотопов за счет как природных, так и техногенных факторов. Ориентируясь на минимально возможные выпадения золотого материала (1 мг в 1 л дождя) в высоких широтах Сибири, можно предположить, что отбор монолитов (колонок) торфа с площади 0,5 м² обеспечит получение объема минерального вещества, необходимого для химического анализа. Ранее нами исследовались торфяные залежи верховых болот Западной Сибири и Южного Прибайкалья для оценок потоков минерального вещества из атмосферы [4–6, 16, 17].

Материал и методы исследования

Объект нашего исследования – верховое болото Дулиха, расположенное в западной части Танхойской равнины на южном берегу оз. Байкал в пределах Саяно-Хамар-Дабанского кедрового гольцово-горно-таежного геобатонического округа в области развития влажных предгорно-подгорных таежных ландшафтов [18]. Геологическое строение окрестностей типично для Танхойской равнины, представляющей собой часть дна Байкальской впадины, и ограниченной береговой полосой оз. Байкал на севере и хребтом Хамар-Дабан на юге. Равнина в основном сложена слабодислоцированными палеогеновыми и неогеновыми образованиями, менее распространены четвертичные отложения. В голоцене на Танхойской равнине преобладали следующие процессы седиментации: заболачивание междуречных пространств, речная деятельность и формирование низких террас оз. Байкал. Климат района умеренно континентальный, среднегодовое количество осадков около 620 мм [9].

Области распространения олиготрофных торфяников на междуречьях – наиболее перспективные места для исследования голоцена южного берега Байкала, в том числе и болотный массив Дулиха. Нашими предшественниками получена детальная летопись позднеплейстоценовой и голоценовой истории юго-восточного побережья оз. Байкал по результатам палинологического анализа и определения ботанического состава озерно-болотных отложений скв. Дулиха [3, 7, 26, 28]. По результатам радиоуглеродного датирования материала (семена, торф, древесина) сделан вывод о достаточно равномерном осадконакоплении в разрезе торфяника Дулиха в течение всего голоцена. Биогеохимические исследования торфяной залежи болота Дулиха единичны [12].

Болото Дулиха около 1 км в поперечнике, плоское, его водосборный бассейн четко не оконтурен. Основное поступление влаги происходит за счет

грунтовой миграции от гор вниз по наклону Танхойской равнины [26]. Торфяная залежь болота представлена остатками эвтрофных и мезотрофных растений, относящихся к пяти отделам: мхам, папоротникообразным, плаунообразным, голосеменным и покрытосеменным с преобладанием последних. Представители рода *Carex* (осоки) доминируют во всех торфяных слоях (среднее содержание 40–50 %), также значительна доля (в среднем 20–30 %) *Scheuchzeria palustris* (шейхцерия болотная), в отдельных слоях установлено до 20–30 % сфагновых мхов [3].

В сентябре 2011 г. на болоте Дулиха в точке с координатами 51°31' с. ш., 105°00' в. д. нами отобран торфяной монолит размерами 47×22×13 см² (рис. 1). В лаборатории проведено препарирование материала торфяника: монолит был разрезан на 23 фрагмента через каждые 2 см. Образцы торфа были высушены до воздушно-сухого состояния в лабораторном помещении при t = +20 °С, озоление проведено при t = +450 °С в муфельной печи согласно методу [11]. Определены плотность сухого торфа (в г/см³) и зольность (в %) для каждого из 23 фрагментов.

Химический состав (19 элементов) в образцах торфа определен атомно-абсорбционным анализом в ИГМ СО РАН с помощью пламенных и электротермических методов атомизации по общепринятым методикам [21]; ртуть определена методом «холодного пара» с амальгамацией на золотом сорбенте.

Полученные значения концентраций элементов нормированы по среднему составу глинистого сланца из сводки [27] и алюминию как наименее подвижному элементу в системе «болотная вода – торф» для оценки степени фракционирования по «коэффициентам обогащения» (Enrichement Factor) согласно выражению [29]:



Рис. 1. Местоположение верхового болота Дулиха (юго-восточное побережье оз. Байкал)

$$EF = \frac{X_{i \text{ обр}} / X_{Al \text{ обр}}}{X_{i \text{ гл. сл}} / X_{Al \text{ гл. сл}}}$$

где $x_{i \text{ обр}}$ – содержание i -го элемента в образце торфа; $x_{Al \text{ обр}}$ – содержание Al в образце торфа; $x_{i \text{ гл. сл}}$ – содержание i -го элемента в глинистом сланце; $x_{Al \text{ гл. сл}}$ – содержание Al в глинистом сланце.

Определение естественно-радиоактивных (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) и техногенных (^{137}Cs , ^{241}Am) элементов в образцах золы торфа проведено методом прямой полупроводниковой гамма-спектрометрии на низкофоновом коксиальном колодезном детекторе фирмы EURISYS MEASURES (Франция) согласно [13]. Графики распределения ^{210}Pb и ^{137}Cs в разрезе монолита получены на основании измерения образцов сухого торфа на низкофоновом колодезном особо чистом германиевом детекторе («рабочий» объем колодца 10 мл).

Результаты и их обсуждение

Плотность торфа в самых верхних слоях монолита (0–3 см) составляет $0,014 \text{ г/см}^3$, в горизонте 7–9 см – $0,038 \text{ г/см}^3$ (рис. 2); в более уплотненных слоях (инт. 11–29 см) – $0,04–0,05 \text{ г/см}^3$, в нижних слоях монолита (инт. 30–43 см) – $0,06 \text{ г/см}^3$. Зольность образцов торфа в монолите имеет иной характер. В слабо уплотненных горизонтах (5–7 см) зольность максимальная (8,8 %), а в более уплотненных средних и нижних снижается до 5 % (см. рис. 2). Высокую зольность в верхних горизонтах монолита можно связать с запыленностью приземной атмосферы (из-за близости болота Дулиха к автодороге), как уже было показано ранее для торфяника близлежащего верхового Выдринского болота [1].

Распределение естественно-радиоактивных элементов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K по слоям монолита приведено на рис. 3. Отметим достаточно выдержанные значения содержания K_2O , монотонно воз-



Рис. 2. Распределение плотности сухого торфа (г/см^3) и зольности (%) по разрезу монолита торфяника верхового болота Дулиха

растающие от 1,6 до 2,9 % в верхних слоях монолита с максимальным содержанием 5,0 % в самом верхнем горизонте (0–3 см). Аналогичный рост содержания радия наблюдается в слоях 3–5 см и 5–7 см с высокими значениями коэффициента равновесия (Ra/U) – 9,7 и 11,5 соответственно на фоне $1,7 \pm 0,7$ по всему разрезу монолита. Радий, как и калий, проявляет биофильные свойства, возможно, за счет способности создавать ионизирующее излучение. Средние значения концентраций тория и урана в разрезе монолита ($11,9 \pm 2,3$ и $3,7 \pm 1,6$ соответственно), а также их отношения ($3,6 \pm 1,4$) близки к кларкам U и Th и их отношениям в глинистом сланце [27]. Калий, торий и уран поступают в болото Дулиха в составе атмосферной терригенной пыли, а неравновесный радий, как и кальций, – из грунтовых и болотных вод.

Для хронологического датирования возраста монолита важен характер распределения по разрезу ^{210}Pb , постоянно поступающего из атмосферы и распадавшегося со временем в образовавшихся стратифицированных горизонтах торфяника. Полученные значения удельной активности ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am , поступавших из атмосферы в 1953–1963 гг., были использованы для подсчета активности слоев

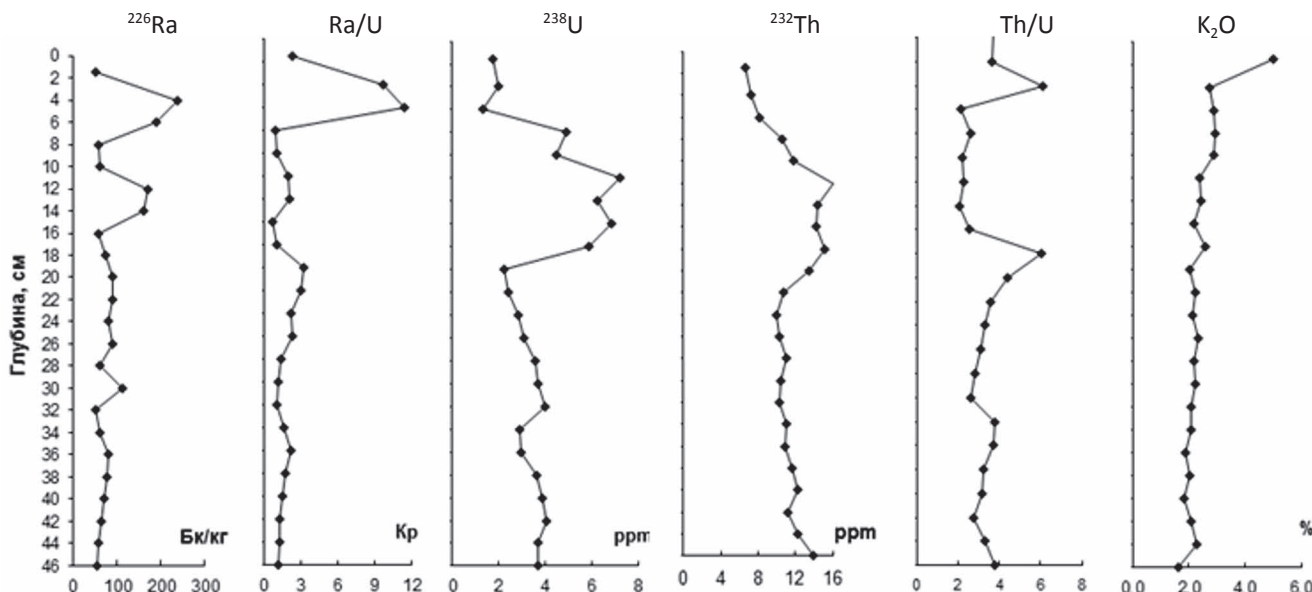


Рис. 3. Распределение естественно-радиоактивных элементов в разрезе монолита торфяника верхового болота Дулиха

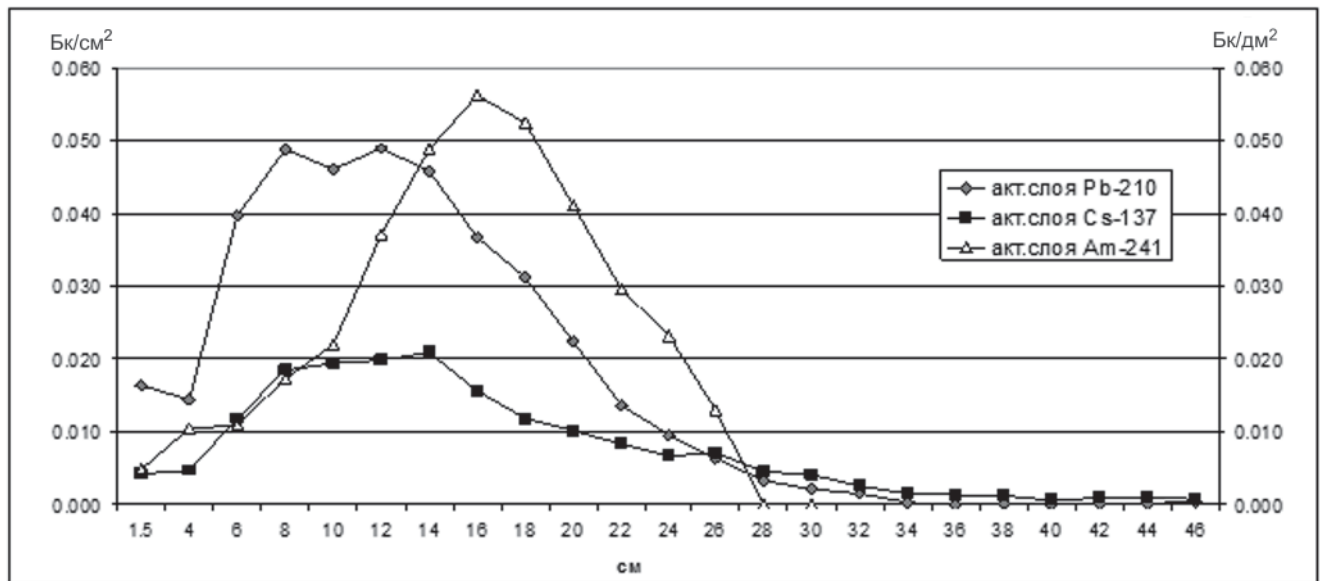

 Рис. 4. Активности ^{210}Pb и ^{137}Cs (Бк/см²), ^{241}Am (Бк/дм²) в слоях монолита торфяника верхового болота Дулиха

Таблица 1

 Активность слоев монолита и их возраст (по ^{210}Pb)

Интервал, см	Сухой торф в слое, г/см ²	Активность слоя, Бк/см ²			Календарный возраст слоя, год	Период формирования слоя, год
		^{137}Cs	^{210}Pb	$^{210}\text{Pb}^*$		
0–3	0,042	0,00500	0,025	0,515	2009	2
3–5	0,034	0,00519	0,024	0,490	2008	1
5–7	0,063	0,01359	0,059	0,466	2003	5
7–9	0,077	0,01917	0,067	0,407	1997	6
9–11	0,081	0,01958	0,067	0,340	1990	7
11–13	0,089	0,02351	0,062	0,273	1982	8
13–15	0,114	0,02628	0,054	0,211	1972	10
15–17	0,088	0,01764	0,044	0,157	1962	10
17–19	0,087	0,01206	0,038	0,113	1948	14
19–21	0,092	0,01065	0,030	0,076	1932	16
21–23	0,083	0,00901	0,019	0,046	1915	17
23–25	0,091	0,00845	0,012	0,027	1895	20
25–27	0,097	0,00620	0,009	0,015	1863	32
27–28	0,091	0,00465	0,004	0,005	1828	35
29–31	0,116	0,00465	0,001	0,002	1805	23
31–33	0,124	0,00316	0,001	0,001	–	–
33–35	0,109	0,00164	0,000	0,000	–	–
35–37	0,116	0,00148	0,000	0,000	–	–
37–39	0,122	0,00091	0,000	0,000	–	–
39–41	0,121	0,00087	0,000	0,000	–	–
41–43	0,120	0,00089	0,000	0,000	–	–
43–45	0,109	0,00074	0,000	–	–	–
45–47	0,083	0,00090	0,000	–	–	–
Сумма	2,149	0,1962	0,516	–	–	–

* Нижние слои.

с учетом зольного вещества в каждом слое (рис. 4). Характерное для верховых болот падение активности ^{210}Pb начинается ниже основания торфяной кочки в горизонте 5–7 см, а в горизонтах 29–33 см фиксируется «полный» распад ^{210}Pb , следовательно, возраст слоев торфяника более 150 лет (шесть периодов полураспада ^{210}Pb). Низкое содержание

^{210}Pb в приповерхностных слабо уплотненных слоях торфа свидетельствует о проницаемости выпадающего из атмосферы радионуклида в более уплотненные горизонты вплоть до подошвы «деятельного» слоя, ниже которой начинается стратификация. Эффект проницаемости приводит к омоложению стратифицированных горизонтов на количество

лет, соответствующих возрасту подошвы «деятельного» слоя.

В отличие от непрерывного поступления ^{210}Pb из атмосферы ^{137}Cs поступал только в 1953–1963 гг. [19]. За такой временной интервал сформировался, по нашим данным, слой 11–13 см, содержащий $0,089 \text{ г/см}^2$ сухого торфа (табл. 1). В настоящее время 55 % захороненного ^{137}Cs находится в пяти слоях интервала 7–17 см, включающих $0,45 \text{ г/см}^2$ сухого торфа, который мог накопиться не менее чем за 40 лет. Все это свидетельствует о том, что ^{137}Cs интенсивно мигрирует по разрезу, проявляя, по видимому, свои биофильные свойства.

Распределение ^{241}Am имеет максимальные значения в слоях 16–18 см, что свидетельствует о слабой миграции его по разрезу и дает нам основание отнести слой 18 (17–19 см) к 1953 г. (см. табл. 1).

Расчет возраста слоев (см. табл. 1) на основе распадающегося ^{210}Pb проведен по формуле, использованной нами ранее в работе [6]:

$$t = (T/\ln 2) \cdot \ln(A_0/A_t),$$

где $T = 22,6$ лет; A_0 – активность всех слоев, содержащих ^{210}Pb ; A_t – активность слоев, залегающих ниже подошвы исследуемого слоя.

Поскольку возможности возрастных оценок по ^{210}Pb ограничены, для хронологии слоев моно-

лита торфяника болота Дулиха ниже 30-сантиметрового горизонта взята радиоуглеродная дата (по ^{14}C) 7616 лет назад (NUTA-5615), приведенная в публикации [3]. Исходя из предположения, что выдерживалась постоянная скорость накопления минеральной компоненты, в нижних слоях монолита (30–50 см) оценены скорости накопления торфа и минеральной (зольной) компоненты (табл. 2).

Химический (элементный) состав минеральной компоненты в разрезе монолита позволяет определить ее источники (атмосферный, биохимический) по аналогии с подходом, предложенным в [5]. Полученные содержания изученных элементов нормированы на опорный элемент алюминий, концентрации которого представлены в табл. 3.

Получены коэффициенты обогащения химическими элементами (EF) верхнего интервала монолита, где достаточно уверенно можно выделить отложения торфа в XVIII–XIX вв. (рис. 5). Обогащение самого верхнего слоя (0–3 см) торфяника болота Дулиха щелочными и щелочно-земельными элементами, Cu и Mn характерно также для всех изученных нами верховых торфяников Сибири [4, 5, 16]. Перераспределение указанной группы элементов в пределах так называемого деятельного слоя вызвано их биофильным характером и уча-

Таблица 2

Скорости накопления торфа и зольного вещества

Середина слоя, см	Сухой торф в слое, г/см^2	Время формирования слоя, год	Календарный возраст слоя, год	Накопление, $\text{г/дм}^2/\text{год}$	
				сухого торфа	зольного вещества
1,5	0,042	2	2009	2,1	0,100
4	0,034	1	2008	3,35	0,204
6	0,063	5	2003	1,25	0,110
8	0,077	6	1997	1,28	0,110
10	0,081	7	1990	1,16	0,087
12	0,089	8	1982	1,12	0,086
14	0,088	10	1972	0,88	0,073
16	0,088	10	1962	0,88	0,065
18	0,0867	14	1948	0,62	0,040
20	0,092	16	1932	0,57	0,037
22	0,083	17	1915	0,49	0,033
24	0,091	20	1895	0,45	0,030
26	0,097	32	1863	0,30	0,020
28	0,091	35	1828	0,26	0,017
30	0,116	23	1805	0,51	0,032
32	0,124	55	1750	0,23	0,013
34	0,109	55	1695	0,20	0,010
36	0,116	55	1640	0,21	0,011
38	0,122	55	1585	0,22	0,012
40	0,121	55	1530	0,22	0,011
42	0,120	55	1475	0,22	0,011
44	0,109	55	1420	0,20	0,011
46	0,083	55	1365	0,15	0,009
Сумма	–	–	–	16,87	1,133

Таблица 3

Содержание Al (опорного элемента) в слоях монолита в расчете на сухое вещество торфа

Слой, см	0–3	3–5	5–7	7–9	9–11	11–13
Al %	0,20	0,24	0,32	0,51	0,54	0,63
См	13–15	15–17	17–19	19–21	21–23	23–25
Al %	0,7	0,6	0,43	0,45	0,43	0,51
См	25–27	27–29	29–31	31–33	33–35	35–37
Al %	0,43	0,45	0,42	0,40	0,33	0,34
См	37–39	39–41	41–43	43–45	45–46	
Al %	0,36	0,37	0,31	0,44	0,43	

стием в процессах фотосинтеза при образовании зеленой массы сфагнового мха. В слоях ниже 17 см коэффициенты обогащения EF для многих элементов в монолите близки 1 или не превышают 2; более 2 – лишь для Ca, Fe. Явный дефицит отмечается у K и Mg (EF 0,6–0,8). Высокие значения EF характерны для элементов – воздушных мигрантов

(Pb, Zn, Cd, Hg, Sb). Однако из-за малой распространенности они существенно не влияют на весовой объем захороненного минерального вещества. Эти элементы входят в группу «летучих», характеризующих загрязненность современной атмосферы [6, 22], и могут быть напрямую связаны с атмосферным аэрозолем, отражая время его поступления на земную поверхность.

Дефицит содержаний Mg и K свидетельствует о существовании «деятельных» слоев на всех временных этапах формирования торфяника, в данном случае за последние 300 лет, и о преимуществе атмосферного источника формирования минерального состава для большинства элементов. Это также подтверждается значениями зольности, которые более чем на 90 % можно связать с пылеаэрозольными выпадениями. Независимо от атмосферного источника минерального вещества, принятого нами за основной для верхового болота Дулиха, «избыточные» концентрации Ca, Fe и Mn во всем разре-

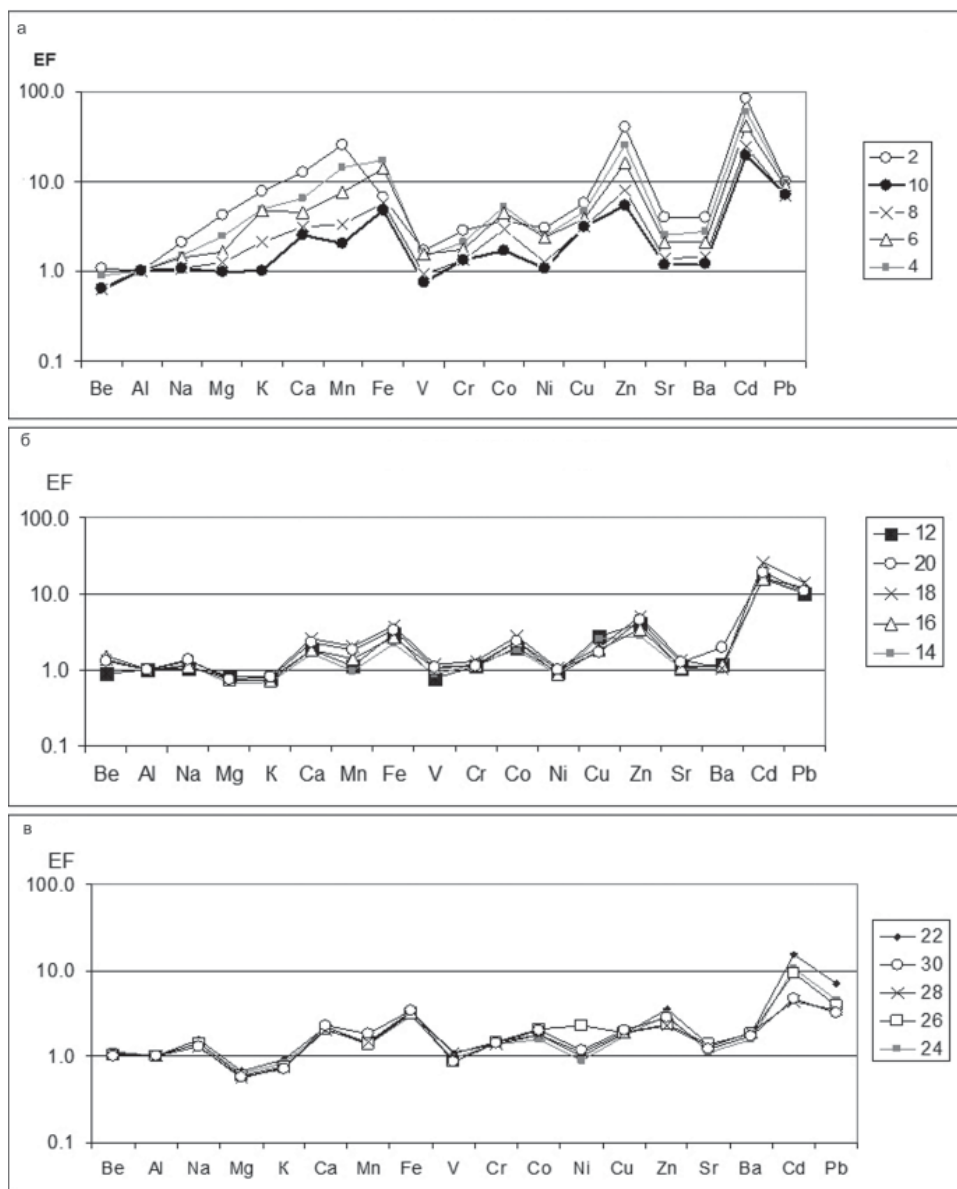


Рис. 5. Коэффициенты обогащения (EF) химическими элементами горизонтов монолита торфа в интервалах: 0–11 см (а); 11–21 см (б); 21–31 см (в)

Таблица 4
Средние годовые скорости накопления вещества

Временной интервал, год	Торф, г/см ² /год	Зола, мг/дм ² /год
1957–2006	1,1	89
1910–1957	0,56	37
1800–1910	0,37	23
1360–1800	0,21	11

зе могут свидетельствовать и о постоянной связи с грунтовыми водами.

На основе анализа распределения радиоактивностей ²¹⁰Pb (природной) и ¹³⁷Cs (техногенной) по разрезу монолита торфяника проведена стратификация его горизонтов. Оценены средние годовые скорости накопления минерального вещества в разрезе торфяника верхового болота Дулиха для второй половины XX в. (табл. 4), соизмеримые с таковыми для отдельных областей Западной Сибири [4], которые подвергаются антропогенному воздействию. Значения достаточно высокие и в 1360–1800 гг., что мы объясняем близостью горных систем (Хамар-Дабан), в отличие от Западной Сибири с аридными обстановками.

Выводы

Естественно-радиоактивный изотоп ²¹⁰Pb непрерывно поступал с атмосферными выпадениями на поверхность торфяника верхового болота Дулиха в отличие от техногенного ¹³⁷Cs, выпадение которого происходило только в 1953–1963 гг. Характерное для верховых болот падение активности ²¹⁰Pb установлено ниже основания торфяной кочки в слое 5–7 см, а в инт. 29–33 см фиксируется «полный» распад ²¹⁰Pb, следовательно, возраст этих слоев оценивается в 150 лет и более (шесть периодов полураспада ²¹⁰Pb). Низкое содержание ²¹⁰Pb в приповерхностных слабо уплотненных слоях свидетельствует о миграции выпадающего из атмосферы радионуклида в более уплотненные горизонты торфяника.

Распределение активности ²⁴¹Am максимально в слоях 16–18 см, что свидетельствует о его слабой миграции по разрезу в отличие от ¹³⁷Cs.

На основании рассчитанных коэффициентов EF установлено обогащение щелочными, щелочноземельными элементами, медью и марганцем самого верхнего слоя (0–3 см) торфяника болота Дулиха. Перераспределение указанной группы элементов в пределах так называемого деятельного слоя, вызвано их биофильным характером и участием в процессах фотосинтеза при образовании зеленой массы сфагнового мха.

Высокие значения EF определены для элементов – воздушных мигрантов (Pb, Zn, Cd, Hg, Sb), характеризующих загрязненность современной атмосферы Прибайкальского региона.

На основе анализа распределения активностей ²¹⁰Pb (природной) и ¹³⁷Cs (техногенной) по разрезу

монолита торфяника проведена стратификация его горизонтов.

Оценены средние годовые скорости накопления минерального (зольного) вещества в разрезе торфяника болота Дулиха для второй половины XX в., соизмеримые с таковыми для отдельных областей Западной Сибири

Работа выполнена в рамках государственного задания — проект № 0330-2016-0011, при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00072 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аномальные** проявления концентраций цинка и меди в торфянике верхового болота Южного Прибайкалья / В. А. Бобров, А. А. Богущ, Г. А. Леонова и др. // Докл. АН РАН. – 2011. – Т. 439, № 6. – С. 784–788.

2. **Аэрозоли** Арктики – результаты десятилетних исследований / В. П. Шевченко, А. П. Лисицын, А. А. Виноградова и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 6–7. – С. 552–576.

3. **Безрукова Е. В., Кривоногов С. К., Такаха-ра Х.** Летопись позднеплейстоценовой и голоценовой истории юго-восточного побережья оз. Байкал по материалам скважины Дулиха // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. – Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. – С. 36–47.

4. **Бобров В. А.** Сравнение атмосферных потоков минерального вещества в Западной и Восточной Сибири на примере голоценовых разрезов Бакчарского и Выдринского торфяников // Геология и минерагения Северной Евразии: матер. совещ. к 60-летию Ин-та геологии и геофизики СО РАН. – Новосибирск, 2017. – С. 37–38.

5. **Бобров В. А., Прейс Ю. И., Будашкина В. В.** Оценка потоков минерального вещества из атмосферы на основе микроэлементного состава торфяной залежи верхового болота Бакчар-1 (южная тайга Западной Сибири) // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 20–29.

6. **Гавшин В. М.** Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // Докл. РАН. – 2004. – Т. 396, № 6. – С. 804–807.

7. **Голоценовые** торфяники Прибайкалья как объект палеоклиматических реконструкций / Е. В. Безрукова, В. Д. Мац, П. П. Летунова и др. // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 12. – С. 378–392.

8. **Ермолов Ю. В., Махатков М. Д., Худяев С. А.** Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 9. – С. 790–800.

9. **Иметхенов А. Б.** Позднекайнозойские отложения озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 1987. – 151 с.



10. **Исследование** нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби / В. П. Шевченко, С. Н. Воробьев, С. Н. Кирпотин и др. // *Оптика атмосферы и океана*. – 2015. – Т. 28, № 6. – С. 499–504.

11. **Карякин А. В., Грибовская И. Ф.** Эмиссионный спектральный анализ объектов биосферы. – М.: Наука, 1979. – 208 с.

12. **Леонова Г. А., Бобров В. А., Мальцев А. Е.** Биогеохимия голоценового разреза торфяника болотного массива Дулиха (Южное Прибайкалье) // *Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: матер. Пятого междунар. полев. симп. (Ханты-Мансийск, 19–29 июня 2017 г.)*. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2017. – С. 152–154.

13. **Мельгунов М. С.** Поведение радионуклидов в процессах формирования осадка озера Иссык-Куль по данным физических методов анализа: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Новосибирск, 2003. – 19 с.

14. **Мельгунов М. С., Щербов Б. Л., Рубанов М. В.** ^{210}Pb и ^7Be в снеговых пробах из различных ландшафтных зон юга Западной Сибири // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека*. – Томск, 2016. – С. 425–429.

15. **О содержании** микроэлементов в атмосфере над океаном, береговыми районами замкнутого морского бассейна и над континентами / В. С. Савенко, В. В. Гордеев, В. Н. Живаго и др. // *Геохимия*. – 1978. – № 3. – С. 433–436.

16. **Оценка** потоков минерального вещества по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота (южная тайга Западной Сибири) / Ю. И. Прейс, В. А. Бобров, В. В. Будашкина, В. М. Гавшин // *Изв. ТПУ*. – 2010. – Т. 316, № 1. – С. 43–47.

17. **Прейс Ю. И., Бобров В. А., Сороковенко О. Р.** Особенности современной аккумуляции минерального вещества на олиготрофных болотах юга лесной зоны Западной Сибири // *Вестн. ТГУ*. – 2010. – № 336. – С. 204–210.

18. **Природопользование** и охрана среды в бассейне Байкала / А. В. Мартынов, С. В. Рященко, А. В. Белов и др. – Новосибирск: Наука, 1990. – 224 с.

19. **Радиационная** обстановка особо охраняемых участков центральной экологической зоны Байкальской природной территории / А. А. Мясников, В. И. Медведев, Л. Г. Коршунов, И. М. Ткаченко // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер. II Междунар. конф. (Томск, 18–22 октября 2004 г.)*. – Томск, 2004. – С. 11–420.

20. **Распределение** и состав аэрозолей Западной Арктики / В. П. Шевченко, А. А. Виноградова, Г. И. Иванов и др. // *Докл. АН РАН*. – 1997. – Т. 355, № 5. – С. 673–676.

21. **Симонова В. И.** Атомно-абсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. – Новосибирск: Наука, 1986. – 212 с.

22. **Ходжер Т. В.** Исследование состава атмосферных выпадений и их воздействия на экосисте-

мы Байкальской природной территории: автореф. дис. ... д. геогр. н. – М., 2005. – 44 с.

23. **Элементный** состав нерастворимой фракции зимних атмосферных выпадений в некоторых районах Южного Прибайкалья / В. А. Оболкин, Н. А. Кобелева, Т. В. Ходжер, Ю. П. Колмогоров // *Оптика атмосферы и океана*. – 2004. – Т. 17, № 5–6. – С. 414–417.

24. ^7Be and ^{210}Pb atmospheric deposition measured in moss and dependence on cumulative precipitation // *Science of the Total Environment* / M. Krmar, D. T. Mihailović, I. Arsenić et al. – 2016. – Vol. 541. – P. 941–948.

25. **Fallout** traces of the Fukushima NPP accident in southern West Siberia (Novosibirsk, Russia) / M. S. Melgunov, N. P. Pokhilenko, V. D. Strakhovenko et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2012. – Vol. 19, no. 4. – P. 1323–1325.

26. **Krивonogov S. K., Takahara H.** Late Pleistocene and Holocene environmental changes recorded in the terrestrial sediments and landforms of Eastern Siberia and Northern Mongolia // *Proceedings International Symp. 21st Century COE Program (17–18 March, 2003, Kanazava)*. – Kanazava, 2003. – P. 30–36.

27. **Li Yuan-hui.** Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1991. – Vol. 55. – P. 3223–3240.

28. **Radiocarbon** chronology of the Late Pleistocene-Holocene paleogeographic events in Lake Baikal region (Siberia) / S. K. Krivonogov, H. Takahara, Y. V. Kuzmin et al. // *Radiocarbon*. – 2004. – Vol. 46, no. 2. – P. 745–754.

29. **Two** thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition in an ombrotrophic bog profile, Jura Mountains, Switzerland / W. Shotytk, A. K. Cheburkin, P. G. Appleby et al. // *Earth and Planetary Science Letter*. – 1996. – Vol. 145, no. 1. – P. 1–7.

REFERENCES

1. Bobrov V.A., Bogush A.A., Leonova G.A., et al. Anomalous concentrations of zinc and copper in highmoor peat bog, southeast coast of Lake Baikal. *Doklady Earth Sciences*, 2011, vol. 439, no. 2, pp. 1152–1156.

2. Shevchenko V.P., Lisitsin A.P., Vinogradova A.A., et al. [Arctic aerosols – results of ten-year investigations]. *Optika atmosfery i okeana – Atmospheric and Ocean Optics*, 2000, vol. 13, no. 6–7, pp. 552–576. (In Russ.).

3. Bezrukova E.V., Krivonogov S.K., Takahara H. [Record of the Late Pleistocene and Holocene history of the south-eastern coast of Lake Baikal adapted from the Dulikha well]. *Problemy rekonstruktsii klimata i prirodnoy sredy golotsena i pleystotsena Sibiri* [Problems of Reconstruction of Climate and Environment of Holocene and Pleistocene in Siberia]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2000, iss. 2, pp. 36–47. (In Russ.).



4. Bobrov V.A. [Comparison of atmospheric flows of mineral matter in Western and Eastern Siberia on the example of Holocene sections of the Bakchar and Vydrino peatlands]. *Mater. soveshch. k 60-letiyu Instituta geologii i geofiziki SO AN SSSR "Geologiya i minerageniya Severnoy Evrazii* [Proceedings to 60-s anniversary of Institute of Geology and Geophysics, SB of AS USSR "Geology and Minerageny of Northern Eurasia"]. Novosibirsk, 2017, pp. 37–38. (In Russ.).
5. Bobrov V.A., Preys Yu.I., Budashkina V.V. [Estimate of flows of mineral matter from the atmosphere based on microelement composition of peat bed of the Bakchar-1 peat bog (south taiga of Western Siberia)]. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii* [Problems of biogeochemistry and Geochemical Ecology], 2013, vol. 22, no. 1, pp. 20–29. (In Russ.).
6. Gavshin V.M., Bobrov V.A., Sukhorukov F.V., et al. Fractionation of chemical elements in atmosphere of Western Siberia: evidences from an ombrotrophic peat bog. *Doklady Earth Sciences*, 2004, vol. 397, no. 5, pp. 668–671.
7. Bezrukova E.V., Mats V.D., Letunova P.P., et al. [Holocene peatlands in Cisbaikalia as an object of palaeoclimatic reconstructions]. *Geologiya i geofizika*, 1996, vol. 37, no. 12, pp. 78–92. (In Russ.).
8. Ermolov Yu.V., Makhatkov M.D., Khudiaeov S.A. [Background concentration of chemical elements in snow cover of the typical regions of Western Siberia]. *Optika atmosfery i okeana – Atmospheric and Ocean Optics*, 2014, vol. 27., no. 9, p. 790–800. (In Russ.).
9. Imetkhenov A.B. *Pozdnekaynozoiyskiye otlozheniya ozera Baikal* [Late Cenozoic deposits of Lake Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 151 p.
10. Shevchenko V.P., Vorobiov S.N., Kirpotin S.N., et al. [Investigations of insoluble particles in the snow cover of the Western Siberia at profile from Tomsk to Ob' estuary]. *Optika atmosfery i okeana – Atmospheric and Ocean Optics*, 2015, vol. 28, no. 6, pp. 499–504. (In Russ.).
11. Karyakin A.V., Gribovskaya I.F. *Emissionnyy spektral'nyy analiz ob'ektov biosfery* [Emission spectral analysis of biosphere objects]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 208 p. (In Russ.).
12. Leonova G.A., Bobrov V.A., Maltsev A.E. [Biogeochemistry of the peatland Holocene section of the Dulikha wetland (South Cisbaikalia)]. *Mater. soveshch. 5-go mezhdunar. polevogo simp. "Zapadno-Sibirskiy torfyaniki i tsikl ugleroda: proshloye i nastoyashchee"* [Proc. of 5th Int. field sympos. "West-Siberian peatlands and carbon cycle: past and future"]. Tomsk, Tomsk State University Publ. House, 2017, pp. 152–154. (In Russ.).
13. Melgunov M.S. *Povedeniye radionuklidov v protsessakh formirovaniya osadka ozera Issyk-Kul' po dannym fizicheskikh metodov analiza. Avtoref. kand. diss.* [Behaviour of radionuclides in processes of the sediment formation of Lake Issyk-Kul' based on data of physical methods of analysis. Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, 2003. 19 p. (In Russ.).
14. Melgunov M.S., Shcherbov B.L., Rubanov M.V. [²¹⁰Pb and ⁷Be in snow samples from various landscape zones of the southern Western Siberia]. *Radioaktivnost' i radioaktivnye element v srede obitaniya cheloveka* [Radioactivity and radioactive elements in human environment]. Tomsk, 2016, pp. 425–429.
15. Savenko V.S., Gordeev V.V., Zhivago V.N., et al. [About trace elements content in the atmosphere over the ocean, littoral areas of enclosed sea basin and over continents]. *Geokhimiya*, 1978, no. 3, p. 433–436. (In Russ.).
16. Preys Iu.I., Bobrov V.A., Budashkina V.V., Gavshin V.M. [Estimate of flows of mineral matter by the properties of peat deposits of the Bakchar bog (south taiga of Western Siberia)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 316, no. 1, pp. 43–47. (In Russ.).
17. Preys Iu.I., Bobrov V.A., Sorokovenko O.P. [Features of recent mineral substance accumulation in oligotrophic bogs in the south of forest zone, Western Siberia]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta – Tomsk State University Bulletin*, 2010, no. 336, pp. 204–210. (In Russ.).
18. Martynov A.V., Riashchenko S.V., Belov A.V., et al. *Prirodopol'zovanie i okhrana sredy v bassejne Baykala* [Environmental Resources Management in the Baykal basin]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 221 p. (In Russ.).
19. Myasnikov A.A., Medvedev V.I., Korshunov L.G., Tkachenko I.M. [Radiation environment of specially protected sites of the Central ecological zone, Baykal Natural Territory]. *Mater. II mezhdunar. konf. "Radioaktivnost' i radioaktivnye element v srede obitaniya cheloveka"* [Proc. of the 2nd Int. Conf. "Radioactivity and radioactive elements in human environment"]. Tomsk, 2004, pp. 11–420. (In Russ.).
20. Shevchenko V.P., Vinogradova A.A., Ivanov G.I., et al. [Distribution and composition of aerosols in the West Arctic]. *Doklady RAS*, 1997, vol. 355, no. 5, pp. 673–676. (In Russ.).
21. Simonova V.I. *Atomno-absorbtsionnye metody opredeleniya elementov v porodakh i mineralakh* [Atomic absorption methods for the determination of elements in rocks and minerals]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 212 p. (In Russ.).
22. Khodzher T.V. *Issledovanie sostava atmosferynykh vypadeniy i ikh vozdeystviya na ekosistemy Baykal'skoy prirodnoy territorii. Avtoref. Dokt. Diss.* [Investigation of precipitations and their impacts on the Baykal Natural Territory ecosystem. Author's abstract of DSc thesis]. Moscow, 2005. 44 p.
23. Obolkin V.A., Kobeleva N.A., Khodzher T.V., Kolmogorov Yu.P. [The element composition of the insoluble fraction of winter atmospheric precipitation in some parts of the South Cisbaikalia region]. *Optika*



atmosfery i okeana – Atmospheric and Ocean Optics, 2004, vol. 17, no. 5–6, pp. 414–417. (In Russ.).

24. Krmar M., Mihailović D.T., Arsenić I. ^7Be and ^{210}Pb atmospheric deposition measured in moss and dependence on cumulative precipitation. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 541, pp. 941–948.

25. Melgunov M.S., Pokhilenko N.P., Strakhovenko V.D., et al. Fallout traces of the Fukushima NPP accident in southern West Siberia (Novosibirsk, Russia). *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, vol. 19, no. 4. pp. 1323–1325.

26. Krivonogov S.K., Takahara H. Late Pleistocene and Holocene environmental changes recorded in the terrestrial sediments and landforms of Eastern Siberia and Northern Mongolia. *Proceed-*

ings International Symp. 21st Century COE Program (17–18 March, 2003, Kanazava). Kanazava, 2003, pp. 30–36.

27. Li Yuan-hui. Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1991, vol. 55, pp. 3223–3240.

28. Krivonogov S.K., Takahara H., Kuzmin Y.V., et al. Radiocarbon chronology of the Late Pleistocene-Holocene paleogeographic events in Lake Baikal region (Siberia). *Radiocarbon*, 2004, vol. 46, no. 2, pp. 745–754.

29. Shotyk W., Cheburkin A.K., Appleby P.G., et al. Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition in an ombrotrophic bog profile, Jura Mountains, Switzerland. *Earth and Planetary Science Letter*, 1996, vol. 145, no. 1, pp. 1–7.

© В. А. Бобров, В. В. Будашкина, М. С. Мельгунов,
Г. А. Леонова, А. Е. Мальцев, 2019