

Домаренко В.А., Савичев О.Г., Перегудина Е.В.  
(Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет)

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ВОС- ТОЧНОГО ВАСЮГАНЬЯ

*Выполнено исследование распределения химических элементов и соединений в болотных водах и водных вытяжках из торфов северо-восточного участка Васюганского болота в пределах Бакчарского железорудного узла в зимний период 2015 г. Получены данные об изменении химического состава болотных вод и торфов по глубине торфяной залежи и в деятельном горизонте. Установлено, что снижение концентраций ряда редкоземельных элементов в болотных водах с глубиной происходит одновременно с их увеличением в минеральной фазе. **Ключевые слова:** Васюганское болото, Западная Сибирь, химический состав, болотные воды, торф.*

Domarenko V.A., Savichev O.G., Peregudina E.V. (National research Tomsk Polytechnic University)

### DISTRIBUTION FEATURES OF CHEMICAL ELEMENTS IN BOGS OF EAST VASYUGAN MIRE COMPLEX

*The research of chemical elements and compounds distribution in wetland waters and water extracts from peats of north-eastern part of Vasyugan mire in of Bakchar ore cluster is completed. The background information is obtained in the period of winter runoff low in 2015 by seasonal snow cover. The data for the change of chemical composition of bog waters and peats according the depth of peat deposit and in active layer are obtained. It is established that the decrease of some rare elements concentrations in bog waters according to depth takes place simultaneously to their increase in a mineral phase. **Keywords:** Vasyugan mire, Western Siberia, chemical composition, wetland waters, peat.*

Возникновение, трансформация и деградация болотных экосистем происходит неразрывно с комплексом сопряженных геохимических и гидрологических процессов, определяющих абсолютные значения и соотношения приходных и расходных элементов водного и гидрогеохимического балансов, а также условия водно-минерального питания болотной растительности [3, 5]. При общем понимании взаимосвязей между этими процессами и компонентами болотных и прилегающих суходольных экосистем многие вопросы, имеющие как фундаментальное научное, так и прикладное значение (необоснованность принятия инженерных решений, научно необоснованные по-

пытки рекультивации и др.), до сих пор не решены или раскрыты недостаточно.

Очень важный аспект функционирования болотных экосистем заключается в перераспределении химических элементов, включая их накопление в тех или иных внутриволотных элементах или частях разреза торфяной залежи. Понимание механизмов этого перераспределения имеет большое значение как при геохимических поисках полезных ископаемых, так и при проведении геоэкологических работ, что и определило цель исследования — изучение общих закономерностей распределения химических элементов в торфяной залежи олиготрофного болота (болотных водах, торфах и водных вытяжках из них) как научно-методической основы планирования экологического мониторинга на болотах Западной Сибири и корректной интерпретации полученных результатов.

#### **Исходная информация и методика исследования**

В качестве объекта исследования выбран участок Васюганского болотного комплекса на территории Томской области. Участок расположен в южно-таежной зоне Западной Сибири, соответствует водосбору р. Ключ — элементу речной системы «Ключ — Бакчар — Чай — Обь» и характеризуется последовательной сменой примерно в пределах 2–3 км заболоченного смешанного леса и болотных экосистем: мезотрофной топяной, мезотрофной лесотопяной, олиготрофной топяной, олиготрофной лесотопяной, топяной с признаками мезо- и олиготрофных систем. Подробное описание участка приведено в работе [11].

Исходная информация получена в конце зимней межени 2015 г. при наличии сезонного снежного покрова при изучении эколого-геохимического состояния гряды грядово-мочажинного комплекса с торфяной залежью верхового типа и лесотопяного подтипа; далее используется более уместный в геоэкологических исследованиях термин «болотная олиготрофная лесотопяная экосистема».

Лабораторные работы выполнялись в аккредитованных лабораториях Томского политехнического университета (химический и микробиологический состав болотных вод и водных вытяжек из торфов) и ООО «Плазма» (химический состав торфов) по аттестованным методикам [8, 11].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Химический состав болотных вод в таежной зоне Западной Сибири существенно зависит от геоморфологических условий и условий водно-минерального питания, определяющих дифференциацию концентраций растворенных веществ в соответствии с трофностью и интенсивностью водообмена в болотных экосистемах [7]. В частности, воды олиго- и мезотрофных болот обычно пресные с малой и очень малой минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые, кислые, с

большим количеством органических веществ и продуктов их разложения [7].

В 2015 г. на исследуемом участке Васюганского болота также были отмечены очень низкие значения pH, весьма незначительное суммарное содержание главных ионов  $\Sigma_{\text{гн}}$  (сумма концентраций  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и при этом — высокие концентрации Fe, Mn и особенно Al (табл. 1). В разрезе торфяной залежи наблюдается, с одной стороны, определенное увеличение  $\Sigma_{\text{гн}}$  болотных вод с глубиной (в целом более высокие значения в инертном горизонте по сравнению с деятельным горизонтом), но, с другой стороны, общее уменьшение  $\Sigma_{\text{гн}}$  водных вытяжек из торфа от поверхности болота до глубины 1 м. Заметное снижение концентраций многих веществ характерно и для торфов в диапазоне глубин от 0,4–0,5 м до 0,9–1,0 м. В частности, отмечено достаточно резкое снижение содержаний Si, Al и Fe в торфах гряды болотной олиготрофной лесотопяной экосистемы в слое от 0,4–0,5 до 0,7–0,8 м.

В целом с учетом данных о распределении химического состава болотных вод и торфов по глубине олиготрофных болот [1, 2, 7, 8] отмечается увеличение

целого ряда веществ в верхней и нижней частях торфяной залежи, что согласно работе [7] объясняется изменением фильтрационных свойств торфов, биогенной аккумуляцией и влиянием грунтовых вод. Более детальное исследование распределения химических элементов по торфяной залежи и по территории болота выполнено авторами работы [8], показавшими, что скорость трансформации болотных экосистем в значительной степени определяется гидрогеохимическими условиями.

Эти условия регулируют количество доступных биогенных элементов (например, P и Ca), выведение или утилизацию токсичных продуктов биогеохимических и биохимических процессов в торфяной залежи (Al,  $\text{NO}_2^-$  и ряд других веществ) и ее кислородный режим. Причем концентрирование токсичных (для растительности) веществ в торфяной залежи во многом зависит от функционирования окислительного и восстановительного геохимических барьеров, которые, в свою очередь, связаны с водным режимом болота и свойствами болотной растительности. Анализ данных, полученных авторами в 2015 г., показал, что для торфяных болот механизм распределения веществ на глубине

Таблица 1

Физико-химические, геохимические и микробиологические показатели болотных вод на участке Васюганского болота у с. Польшанка

Показатель	Ед. изм.	Внутриболотная экосистема								
		Олиготрофная лесотопяная (ГМК, гряда) [8]		Мезотрофная лесная			Олиготрофная лесная		Олиготрофная топяная	Олиготрофная лесотопяная (ГМК, гряда)
Дата отбора проб	—	07.04.2015 г.			04.12.2015 г.					
Глубина опробования	м	0.3–0.5	1.0–1.2	0.3–0.5	0.3–0.5	0.3–0.5	0.3–0.5	0.3–0.5	0.3–0.5	0.3–0.5
Толщина торфяной залежи	м	4.20	4.20	0.50	1.90	2.60	2.50	4.50	2.00	2.20
pH	ед. pH	5.40	5.50	3.74	3.81	3.94	3.91	3.69	4.19	4.14
CO <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	53.0	44.0	110.0	88.0	81.0	77.0	107.0	74.0	67.0
$\Sigma_{\text{гн}}$	мг/дм <sup>3</sup>	34.4	38.7	6.1	5.1	5.0	4.6	4.7	6.6	4.0
Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	10.8	12.0	2.1	1.5	1.3	1.3	1.3	2.5	0.9
Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	2.7	3.1	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1.4	2.1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3
K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1.0	1.1	0.6	0.5	0.5	0.3	0.5	0.6	0.3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	16.0	16.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1.8	3.0	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	0.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.7	1.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.250	0.310	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.130	0.120
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.001	0.093	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.140	0.320	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.290	0.005
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.730	0.210	0.005	0.005	0.005	0.055	0.075	0.080	0.090
Si	мг/дм <sup>3</sup>	4.71	4.87	3.30	2.53	2.55	1.79	2.21	1.76	1.67
Fe	мг/дм <sup>3</sup>	1.200	0.730	0.650	0.480	0.550	0.420	0.430	3.100	0.610
Al	мкг/дм <sup>3</sup>	724	1213	300	220	190	210	390	3909	290
Sc	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	1.1276	0.0010
Ti	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	4.202	3.368	2.877	3.447	7.091	186.576	5.561
V	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.651	0.540	0.341	0.777	1.305	14.825	0.845

Окончание табл. 1

Показатель	Ед. изм.	Внутриболотная экосистема								
		Олиготрофная лесотопяная (ГМК, гряда) [8]		Мезотрофная лесная			Олиготрофная лесная		Олиготрофная топяная	Олиготрофная лесотопяная (ГМК, гряда)
Дата отбора проб	—	07.04.2015 г.			04.12.2015 г.					
Cr	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	1.058	0.927	0.837	0.975	1.321	8.909	1.166
Mn	мкг/дм <sup>3</sup>	100.0	42.0	143.5	116.8	158.1	99.6	99.6	173.0	108.4
Co	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.445	0.338	0.267	0.266	0.421	3.630	0.304
Ni	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.266	0.477	0.371	0.505	0.648	4.874	0.681
Cu	мкг/дм <sup>3</sup>	3.0	3.2	2.9	3.7	3.0	2.3	2.5	8.7	4.4
Zn	мкг/дм <sup>3</sup>	210.0	78.0	31.0	28.0	30.0	67.0	25.0	260.0	26.0
As	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	1.495	1.257	1.315	1.466	1.929	3.170	1.610
Se	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.097	0.237	0.177	0.130	0.146	0.394	0.003
Rb	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.914	1.024	1.187	0.809	1.200	6.807	0.951
Sr	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	14.8	10.2	8.4	8.3	6.2	23.9	4.1
Zr	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.2028	0.1589	0.1402	0.1202	0.3024	4.5461	0.2443
Nb	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0149	0.0096	0.0062	0.0049	0.0273	0.4644	0.0213
Mo	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.4341	0.2898	0.0955	0.0204	0.0620	0.1923	0.0279
Ag	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0930	0.1323	0.1706	0.0817	0.0733	0.0181	0.0003
Cd	мкг/дм <sup>3</sup>	0.1800	0.2100	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.1500	0.0010
Sn	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0715	0.0767	0.0675	0.0594	0.1327	0.1590	0.0864
Sb	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.2069	0.1747	0.1859	0.1733	0.2200	0.2393	0.2083
Te	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0155	0.0101	0.0158	0.0091	0.0003	0.0450	0.0003
Cs	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0340	0.0276	0.0299	0.0256	0.0389	0.3792	0.0414
Ba	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	7.1	5.8	11.6	5.6	6.4	136.8	5.9
Lu	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0018	0.0016	0.0016	0.0018	0.0030	0.0225	0.0019
Hf	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0047	0.0041	0.0039	0.0026	0.0083	0.1176	0.0059
Hg	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0064	0.0085	0.0003
Pb	мкг/дм <sup>3</sup>	2.700	1.800	1.100	1.100	0.610	0.550	1.100	2.800	0.980
Bi	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0126	0.0089	0.0057	0.0036	0.0203	0.0433	0.0163
La	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0707	0.0482	0.0528	0.0542	0.1350	1.4843	0.0951
Ce	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.2047	0.1472	0.1586	0.1582	0.3508	3.4101	0.2627
Sm	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0257	0.0156	0.0200	0.0191	0.0407	0.3532	0.0353
Eu	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0052	0.0054	0.0050	0.0046	0.0097	0.0892	0.0084
Tb	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0035	0.0030	0.0030	0.0027	0.0063	0.0498	0.0043
Yb	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0103	0.0082	0.0061	0.0057	0.0148	0.1463	0.0129
Th	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0280	0.0240	0.0179	0.0173	0.0515	0.5138	0.0317
U	мкг/дм <sup>3</sup>	—	—	0.0013	0.0018	0.0012	0.0016	0.0064	0.1164	0.0053
ПО	мгО/дм <sup>3</sup>	124.80	108.00	87.47	68.11	56.05	59.33	88.21	53.47	64.69
БО	мгО/дм <sup>3</sup>	212.00	183.90	169.00	142.00	124.00	129.00	170.00	120.00	137.00
ФК	мг/дм <sup>3</sup>	—	—	190.34	169.69	166.41	109.03	172.04	165.75	147.07
ГК	мг/дм <sup>3</sup>	—	—	9.54	7.45	8.48	8.48	13.72	12.66	1.17
Бактерии:										
сапрофиты, всего	кл/мл	26280	340	1060	6040	3830	46850	3380	24320	5500
нефте-окисляющие	кл/мл	60	0	210	650	280	2130	550	3520	17200
аммонифицирующие	кл/мл	100	0	10	10	10	10	10	10	10
нитрифицирующие	кл/мл	1000	1000	10	1000	1000	100	100	1000	1000

Примечание: ГМК — грядово-мочажинный комплекс; Sgi — сумма главных ионов; ПО и БО — перманганатная и бихроматная окисляемость; ФК и ГК — фульво- и гуминовые кислоты

Таблица 2

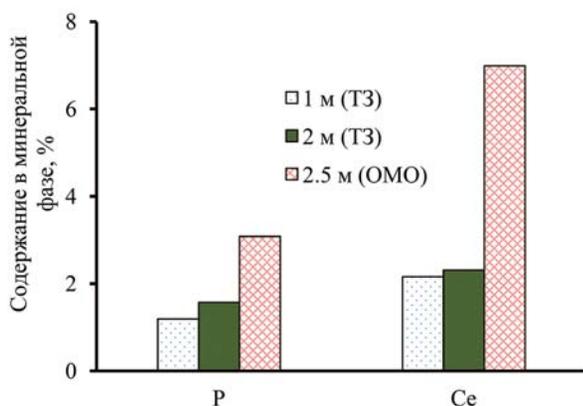
Физико-химические и геохимические показатели торфов и водных вытяжек из торфов в олиготрофной лесотопяной экосистеме (грязево-мочажинный комплекс, гряда) в пределах Васюганского болота, 07.04.2015 г.

Показатель	Ед. изм.	Диапазон глубин, м									
		0.0–0.1	0.1–0.2	0.2–0.3	0.3–0.4	0.4–0.5	0.5–0.6	0.6–0.7	0.7–0.8	0.8–0.9	0.9–1.0
Водная вытяжка из торфа											
pH	ед. pH	4.89	5.1	5	4.75	5.2	6.1	5.1	4.47	5.22	5.43
CO <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	1 320	1 410	1 232	1 672	968	616	616	704	1 144	1 144
Σ <sub>гн</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	2 259.0	2 227.0	1 505.5	1 052.5	1 073.2	1 108.2	941.5	325.2	779.3	923.4
Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	343.0	449.0	317.0	278.0	242.0	214.0	224.0	149.0	212.0	236.0
Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	78.0	112.0	79.7	71.1	63.5	54.5	58.0	40.0	56.7	62.3
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	135.0	149.0	67.8	52.4	64.0	42.8	52.0	34.1	46.2	61.0
K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	733.0	404.0	355.0	297.0	85.7	49.9	35.5	44.0	31.6	32.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	488.0	610.0	427.0	183.0	488.0	671.0	488.0	0.0	366.0	427.0
Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	292.0	270.0	104.0	72.0	80.0	50.0	60.0	54.0	58.0	82.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	190.0	233.0	155.0	99.0	50.0	26.0	24.0	4.1	8.8	22.6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	17.00	7.80	0.01	0.01	0.01	0.01	7.00	3.00	4.00	5.10
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.00	1.20	0.01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.03	3.30	1.50	1.00	1.40	49.30	82.50	48.00	90.00	24.70
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	9.60	10.90	6.00	8.00
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	10.00	85.00	37.00	4.60	2.70	1.20	32.00	0.00	1.50	1.50
Торф											
Na	мг/кг	—	—	—	—	387.4	164.3	126.6	68.1	78.7	80.7
Mg	мг/кг	—	—	—	—	478.4	346.5	379.2	315.7	288.3	295.7
Al	мг/кг	—	—	—	—	2097.0	1204.4	974.3	575.1	618.9	619.0
Si	мг/кг	—	—	—	—	10 720.4	5 892.8	4 605.5	2 470.6	2 875.8	2 773.2
P	мг/кг	—	—	—	—	280.9	247.8	249.2	154.4	175.1	181.1
K	мг/кг	—	—	—	—	688.7	357.0	239.9	139.2	180.5	162.7
Ca	мг/кг	—	—	—	—	1 169.4	941.3	1 016.7	1 094.0	1 028.2	1 183.3
Sc	мг/кг	—	—	—	—	0.630	0.314	0.477	0.284	0.252	0.234
Ti	мг/кг	—	—	—	—	1 64.1	79.8	59.3	35.7	42.3	41.7
V	мг/кг	—	—	—	—	4.415	2.437	1.803	1.230	1.364	1.380
Cr	мг/кг	—	—	—	—	11.124	8.717	9.179	7.176	7.513	7.812
Mn	мг/кг	—	—	—	—	27.310	16.489	23.259	23.348	23.596	26.755
Fe	мг/кг	—	—	—	—	1 189.5	751.5	600.7	500.4	511.9	540.9
Co	мг/кг	—	—	—	—	0.653	0.456	0.353	0.341	0.370	0.382
Ni	мг/кг	—	—	—	—	2.622	1.824	1.028	0.925	0.904	0.856
Cu	мг/кг	—	—	—	—	7.699	12.178	12.178	12.178	12.178	6.647
Zn	мг/кг	—	—	—	—	24.264	15.199	11.795	10.041	13.446	18.596
As	мг/кг	—	—	—	—	2.230	0.962	0.553	0.449	0.579	0.479
Se	мг/кг	—	—	—	—	0.276	<0.0005	0.513	6.297	<0.0005	11.522
Rb	мг/кг	—	—	—	—	2.945	1.291	0.783	0.575	0.751	0.689
Sr	мг/кг	—	—	—	—	13.747	9.626	8.563	10.151	9.857	10.706
Zr	мг/кг	—	—	—	—	4.627	2.293	1.357	0.995	1.149	1.142
Nb	мг/кг	—	—	—	—	0.482	0.260	0.165	0.111	0.146	0.145
Mo	мг/кг	—	—	—	—	0.496	0.537	0.403	0.266	0.615	0.532
Ag	мг/кг	—	—	—	—	0.014	0.001	0.004	<0.0001	0.062	0.082
Cd	мг/кг	—	—	—	—	0.191	0.110	0.056	0.042	0.047	0.046
Sn	мг/кг	—	—	—	—	0.337	0.138	0.074	0.030	0.102	0.084
Sb	мг/кг	—	—	—	—	0.240	0.156	0.074	0.041	0.050	0.060
Cs	мг/кг	—	—	—	—	0.294	0.111	0.057	0.040	0.048	0.051
Ba	мг/кг	—	—	—	—	29.919	16.517	11.982	11.162	12.086	12.274
La	мг/кг	—	—	—	—	1.167	0.651	0.480	0.507	0.395	0.401
Ce	мг/кг	—	—	—	—	2.411	1.314	0.860	0.630	0.721	0.729

Показатель	Ед. изм.	Диапазон глубин, м									
		0.0–0.1	0.1–0.2	0.2–0.3	0.3–0.4	0.4–0.5	0.5–0.6	0.6–0.7	0.7–0.8	0.8–0.9	0.9–1.0
Торф											
Sm	мг/кг	—	—	—	—	0.238	0.112	0.067	0.052	0.072	0.051
Eu	мг/кг	—	—	—	—	0.050	0.031	0.016	0.013	0.018	0.017
Tb	мг/кг	—	—	—	—	0.031	0.016	0.011	0.009	0.010	0.011
Yb	мг/кг	—	—	—	—	0.083	0.040	0.026	0.018	0.024	0.017
Lu	мг/кг	—	—	—	—	0.013	0.007	0.004	0.003	0.003	0.003
Hf	мг/кг	—	—	—	—	0.094	0.051	0.027	0.018	0.023	0.023
Hg	мг/кг	—	—	—	—	0.090	0.056	0.059	0.031	0.046	0.031
Pb	мг/кг	—	—	—	—	6.914	3.663	2.164	1.000	1.394	1.349
Bi	мг/кг	—	—	—	—	0.076	0.032	0.013	0.007	0.011	0.013
Th	мг/кг	—	—	—	—	0.363	0.291	0.152	0.116	0.133	0.126
U	мг/кг	—	—	—	—	0.116	0.082	0.053	0.063	0.066	0.062

может включать в себя соосаждение фосфора с гидроксидом железа на границе деятельного и инертного горизонтов аналогично тому, как это происходит в «обычных» водных объектах [6]. Подтверждением этого предположения служит хорошо выраженная зависимость между содержаниями железа и фосфора в торфах. В болотной воде и водных вытяжках из торфа связь между этими элементами также имеется, но она не столь ярко выражена (табл. 1, 2). Это объясняется образованием соединений железа с органическими кислотами, состав и эквивалентное количество которых в водной среде, в свою очередь, определяется биогеохимическими процессами, рН водной среды и наличием контакта с минеральным грунтом [4].

На фоне снижения концентраций Р и Fe может наблюдаться уменьшение концентраций растворенных форм целого ряда других химических элементов за счет сорбции на взвешенных и коллоидных частицах в водной среде, особенно в зоне ухудшения доступа кислорода [9]. Видимо, именно этой причиной объясняется наблюдаемое распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в торфах, водных вытяжках из торфа и болотных водах и связь их концентраций с уровнем содержания в торфах фосфора.



Распределение Р и Се в минеральной фазе торфов по глубине торфяной залежи (ТЗ) и органо-минеральных отложений (ОМО) в пределах олиготрофной лесной внутриболотной экосистемы, 04.12.2015 г.

Кроме того, следует ожидать и выведение из водного раствора малорастворимых соединений металлов гуминовыми кислотами, концентрирующихся в апатите, монаците, ксенотиме, ильмените, рутиле, цирконе и др. [4]. При этом редкоземельные фосфаты встречаются в двух минеральных ассоциациях: кластогенные монацит и ксенотим и аутигенный куларит, схожий с куларитами из железных руд Бакчарского рудного узла.

В распределении редкоземельных фосфатов в разрезе торфяной залежи намечается определенная закономерность — кластогенные минералы накапливаются преимущественно в подстилающих торфяную залежь ОМО, а аутигенные минералы — преимущественно в верхней и средней частях торфяной залежи. Содержание ряда элементов (включая РЗЭ) в минеральных включениях в целом обратно пропорционально их содержанию в водных растворах (рисунок).

Соотношение концентраций редкоземельных и радиоактивных элементов в изученных болотных водах достаточно сильно отличается от соответствующих показателей для речных вод региона по данным работы [10]. Соответственно можно предположить, что и механизмы их накопления и миграции в речных и болотных экосистемах существенно отличаются, прежде всего, за счет увеличения роли органического вещества в системе взаимодействий «вода — порода — органическое вещество — газ». В общих чертах отличия болотных экосистем определяются следующим.

В верхней и придонной частях торфяной залежи болотных экосистем происходит аккумуляция целого ряда веществ, включая редкоземельные и радиоактивные элементы. Основными причинами этого явления, предположительно, являются: 1) уменьшение фильтрационных свойств торфа и смена окислительной обстановки на восстановительную на границе деятельного и инертного горизонтов торфяной залежи; 2) сорбционные и ионно-обменные процессы в зоне заметного снижения фильтрационного потока и смены окислительной обстановки на восстановительную; 3) биогенные процессы в болотной экосистеме с учетом их сезонной изменчивости.

## Выводы

В торфяных болотах происходит достаточно резкое уменьшение фильтрационных свойств торфов на границе деятельного и инертного горизонтов (возможно, и у дна торфяной залежи на границе торф — органико-минеральные отложения), что способствует снижению интенсивности массообмена между болотной экосистемой и окружающей средой (соответственно увеличивается время взаимодействия воды с торфом и минеральными примесями) и затруднению доступа кислорода. Таким образом, формируется окислительный и восстановительный геохимические барьеры, способствующие накоплению ряда металлов примерно на глубинах 0,3–0,7 м, в ряде случаев — ниже 0,7 м. Образование барьеров и зон аккумуляции веществ в торфяной залежи в значительной степени зависит от водного режима болота и вероятности контакта с горными породами. По ряду причин эти условия, как правило, существенно меняются в течение многолетнего периода и по площади. Тем не менее, в отсутствие катастрофического разрушения болота (например, в результате пожара) слой с повышенными концентрациями микроэлементов прослеживается даже в угольных пластах [1].

Еще одной ключевой особенностью процессов аккумуляции веществ в болотных экосистемах является чрезвычайно важная роль органического вещества, более значительная, чем в подземных и речных водах [10]. Согласно работе [4] в подземных водах накопление некоторых металлов за счет образования комплексных соединений с фульвокислотами возможно даже при наличии водовмещающих горных пород с кларковым содержанием. В болотных же водах следует ожидать усиление этого эффекта. Как следствие, в болотных экосистемах возможно формирование геохимических аномалий даже при отсутствии расположенных вблизи крупных эндогенных источников вещества, что необходимо учитывать при проведении оценки воздействия хозяйственной деятельности и экологического мониторинга на болотах. В частности, далеко не всегда повышенные концентрации микроэлементов, обнаруживаемые в верхней части торфяной залежи болот Западной Сибири даже вблизи нефтегазодобывающих предприятий, связаны со сбросом сточных вод, осаждением загрязняющих веществ из атмосферного воздуха или авариями на технологических объектах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00042.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов, С.И. Среднее содержание некоторых элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты / С.И. Арбузов, В.С. Архипов, В.К. Бернатонис // Изв. Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 315. — № 1. — С. 44–48.
2. Бахнов, В.К. Почвообразование. Взгляд в прошлое и настоящее. Биосферные аспекты / В.К. Бахнов — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. — 117 с.
3. Иванов, К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К.Е. Иванов — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
4. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец — М.: Наука, 2004. — 677 с.
5. Лисс, О.Л. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О.Л. Лисс, Л.И. Абрамова, Н.А. Аветов, Н.А. Бе-

резина, Л.И. Инишева, Т.В. Курнишкова, З.А. Слук, Т.Ю. Толпышева, Н.К. Шведчикова — Тула: Гриф и К<sup>+</sup>, 2001. — 584 с.

6. Савенко, А.В. О взаимосвязанности внутриводоемных циклов фосфора и железа / А.В. Савенко // Водные ресурсы. — 1998. — Т. 25. — № 3 — С. 330–334.

7. Савичев, О.Г. Геохимические показатели болотных вод в таежной зоне Западной Сибири / О.Г. Савичев // Изв. РАН. Серия географическая. — 2015. — № 4. — С. 47–57.

8. Савичев, О.Г. Гидрогеохимические условия формирования олиготрофных болотных экосистем / О.Г. Савичев, А.К. Мазуров, И.П. Семилетов, В.А. Базанов, Н.В. Гусева, А.А. Хвощевская, Н.Г. Наливайко // Изв. РАН. Серия географическая. — 2016. — № 5. — С. 68–77.

9. Шатров, В.А. К проблеме поведения лантаноидов в водах и осадочных образованиях современного мирового океана / В.А. Шатров, Г.В. Войцеховский // Вестник ВГУ. Геология. — 2010. — № 1. — С. 73–83.

10. Шварцев, С.Л. Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев // Водные ресурсы. — 1997. — № 6. — С. 762–768.

11. Eckstein, Yoram Two decades of trends in ground water chemical composition in The Great Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia / Yoram Eckstein, Oleg G. Savichev, Elena Yu. Pasechnik // Environmental Earth Sciences. — 2015. — N 1. — pp. 3–15. DOI 10.1007/s12665-014-3908-z.

© Домаренко В.А., Савичев О.Г., Перегудина Е.В., 2017

Домаренко Виктор Алексеевич // viktor\_domarenko@mail.ru  
Савичев Олег Геннадьевич // OSavichev@mail.ru  
Перегудина Елена Владимировна // pere-elena@mail.ru

УДК 331.46+331.47

**Алексеев В.М., Фаррахов Е.Г., Вольфсон И.Ф.  
(РОСГЕО)**

### **К ВОПРОСУ О ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ТРАВМАТИЗМЕ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

*Рассмотрены некоторые аспекты производственного травматизма и профессиональных заболеваний при проведении геологоразведочных работ. На основе информации геологических предприятий осуществлен анализ состояния и причин травматизма, а также производственных факторов, приводящих к профессиональным заболеваниям. **Ключевые слова:** геологоразведочные работы, геологи, охрана труда, травматизм, профессиональные заболевания, опасные и вредные производственные факторы, микроэлементы, вахта, акклиматизация.*

Alekseev V.M., Farrakhov E.G., Volfson I.F. (ROSGEO)

ON THE ISSUE OF OCCUPATIONAL INJURIES AND OCCUPATIONAL DISEASES DURING GEOLOGICAL EXPLORATION

*Some aspects of occupational injuries and occupational diseases in geological exploration are considered. Based on the information from geological enterprises, the analysis of the condition and causes of injuries, as well as production factors leading to occupational diseases, has been carried out. **Key words:** geological exploration, geologists, labor protection, traumatism, occupational diseases, hazardous and harmful production factors, trace elements, shift work, acclimatization. **Keywords:** geological exploration, geologists, labor protection, traumatism, occupational diseases, hazardous and harmful production factors, trace elements, shift work, acclimatization.*