

УДК 550.42:577.4(571.1)

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ВНУТРИГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ТИМИРЯЗЕВСКОГО БОЛОТА (ТОМСК, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

О.Г. Савичев, А.В. Шамаков

Томский политехнический университет

E-mail: OSavichev@mail.ru

Разработан комплекс для опробования болотных вод на разных глубинах и проведена его апробация на мезотрофном Тимирязевском болоте в районе г. Томска (Западная Сибирь). Установлено, что изменение химического состава болотных вод характеризуется: в разрезе торфяной залежи – минимальными значениями минерализации в верхней части деятельного горизонта; в течение гидрологического года – максимумами либо в весенний период при поступлении микроразнообразных и органических веществ в болото с поверхностным стоком с прилегающих суходолов, с атмосферными осадками, при растворении твёрдых примесей талыми водами, либо в летний период – при усилении биогеохимических процессов и накоплении в водной среде главных ионов.

Ключевые слова:

Болотные воды, химический состав, вертикальная зональность, внутригодовые изменения, Западная Сибирь.

Key words:

Marsh waters, chemical compound, vertical profile changes, intraannual changes, Western Siberia.

Введение

Таёжная зона Западной Сибири характеризуется высокой заболоченностью. Так, по данным [1] в пределах Томской области общая площадь болот (без учёта заболоченных земель) составляет 116153 км² или 37 % территории, в том числе площадь верховых болот – 53492 км² (17 % территории Томской области), переходных – 48934 км² (15,6 %), низинных – 13727 км² (4,4 %). Болота оказывают мощное воздействие на все аспекты формирования и эволюции окружающей среды в регионе [2], что определяет актуальность исследования соответствующих процессов, включая гидрогеохимические. В данной работе, в развитие работ по общей оценке гидрогеохимического состояния болот таёжной зоны Западной Сибири [3], рассмотрены вопросы изучения изменений химического состава болотных вод в течение года и по глубине торфяной залежи.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью понимания механизмов природно-антропогенной трансформации вод и разработки мероприятий по восстановлению нарушенных экосистем. Его целью является выявление закономерностей пространственно-временных изменений химического состава вод болота, расположенного в 2 км на юго-запад от п. Тимирязево и 3,5 км на запад от г. Томска (рис. 1). При этом необходимо отметить, что отбор проб болотных вод с разной глубины торфяной залежи не только является трудоёмкой задачей, но и сопряжён с необходимостью изъятия воды в течение всего года без изменения её химического состава и нарушения структуры водных масс.

Рассматриваемое болото расположено в левобережной части долины р. Томи, залегает на аллювиальных отложениях её второй надпойменной террасы, представленных песками, супесями, суглинками, и характеризуется как мезотрофное

сфагново-кустарничково-сосновое. Мощность торфяной залежи составляет от 1 до 4,5 м. Болото находится в зоне влияния первой очереди Томского водозабора подземных вод, что определяет ещё один аспект исследования – выявление и анализ изменений окружающей среды под влиянием хозяйственной деятельности [4–7].

Методика исследования

Исследование выполнено в течение 2010–2011 гг. Оно включало: 1) разработку оборудования и технологии отбора болотных вод с различных глубин торфяной залежи без смешения разных слоёв; 2) обустройство пункта наблюдений и проведение опробования болотных вод; 3) определение химического состава болотных вод и анализ полученных материалов.

В рамках решения первой задачи был создан комплекс, состоящий из рабочей колонны, выполненной в виде перфорированной стальной трубы, и пробоотборника – стального цилиндра с приёмным отверстием и резиновыми манжетами, предотвращающими поступление воды с выше- и ниже расположенных горизонтов и обеспечивающими поступление воды с заданной глубины в пластмассовую камеру-накопитель, установленную ниже стального цилиндра. Материалы, из которых выполнены колонна и пробоотборник, обладают определённой устойчивостью к окислению в болотной среде. В целом, в отличие от оборудования для полевого отбора проб болотных вод, используемого в Росгидромете [8], разработанное устройство позволяет: 1) отбирать воду с заданной глубины при минимальном смешении вод с разных горизонтов торфяной залежи; 2) минимизировать контакт пробы болотной воды с атмосферным воздухом; 3) проводить гидрохимические наблюдения в течение всего года, включая период с отрицательными температурами.

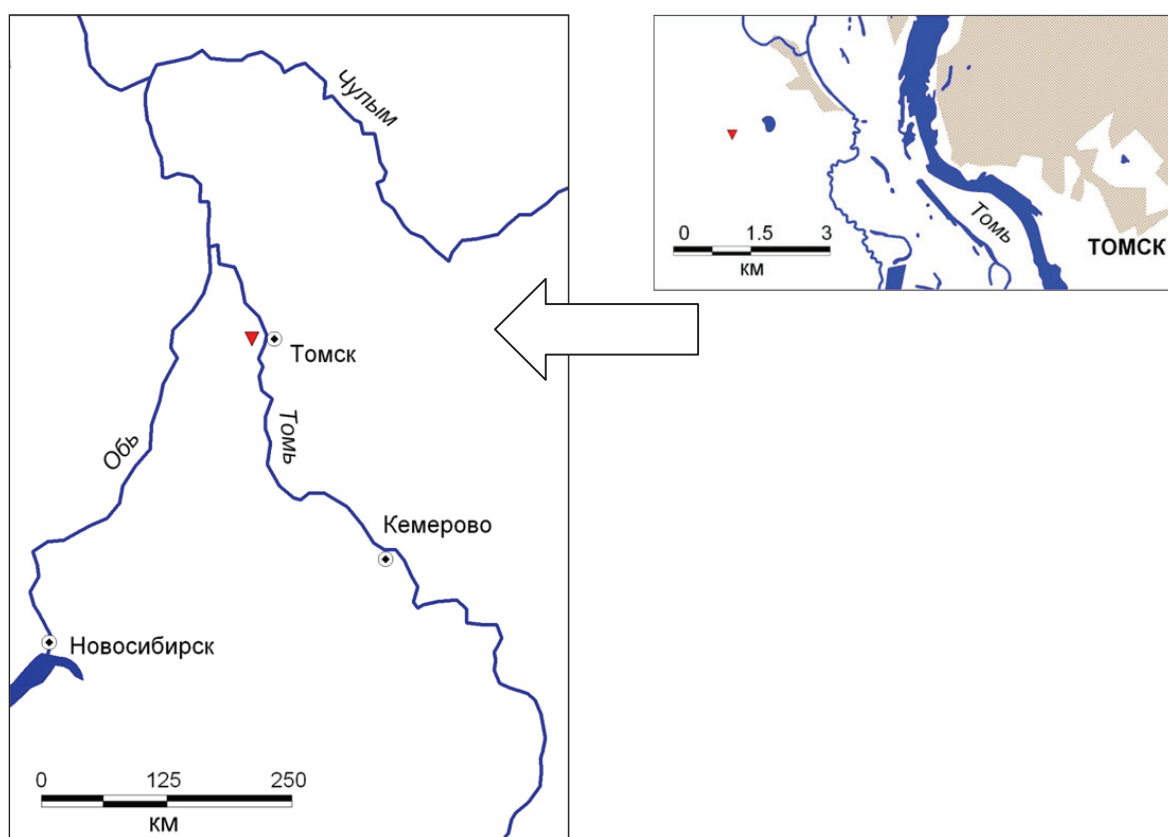


Рис. 1. Схема размещения участка наблюдений за химическим составом вод Тимирязевского болота у г. Томска

Непосредственно на Тимирязевском болоте для изучения химического состава болотных вод был выбран участок ряма (сфагново-кустарничково-соснового болота) с мощностью торфяной залежи 4 м, на котором в 100 м от границы болота и суходола установлены скважины в трёх метрах друг от друга. Наблюдения проводились в основные фазы водного режима болота (весеннее половодье, летне-осенняя и зимняя межень) и предусматривали, помимо собственно отбора проб воды, измерение в полевых условиях уровня, температуры, pH, Eh и электропроводности болотных вод. Определение химического состава вод проводилось в аккредитованных лабораториях Томского политехнического университета.

При определении гидрохимических и геохимических показателей использовались следующие методы: удельная электропроводность χ — кондуктометрический; pH и Eh — потенциометрический; SO_4^{2-} , Cl^- , Br^- — ионная хроматография; Ca^{2+} , HCO_3^- — химическое потребление кислорода (ХПК), фульво- (ФК) и гуминовые (ГК) кислоты, перманганатная окисляемость (П.О.), растворённый углекислый газ — титриметрический; NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Si — фотометрический; Na^+ , K^+ , Ni, Co, Al, Sr, Sb, Ba, Li — атомная абсорбция и атомно-эмиссионная спектрометрия; Cr — атомно-эмиссионная спектрометрия; Zn, Pb, Cd, Cu, Mn, As — инверсионная вольтамперометрия и атомно-эмиссионная спектрометрия. Анализ гидрохимических данных на наличие экстремальных значений проведён согласно [9].

Результаты исследования

Болотные воды на рассматриваемой территории характеризуются в целом как кислые и слабокислые, по классификации О.А. Алёкина [10] — пресные с минерализацией от очень малой (до 100 мг/дм³) до средней (200...500 мг/дм³), содержат большое количество органических веществ, по химическому составу — в среднем сульфатные кальциевые (табл. 1).

Изменения содержаний главных ионов и значений pH в разрезе торфяной залежи имеют достаточно сложный характер. Но их минимальные значения в целом приурочены к верхней части деятельного горизонта (рис. 2), что объясняется значительным влиянием атмосферных осадков и талых вод на химический состав болотных вод у поверхности и его постепенным снижением по мере ухудшения фильтрационных свойств торфов и увеличения времени взаимодействия воды с органическими и органоминеральными соединениями.

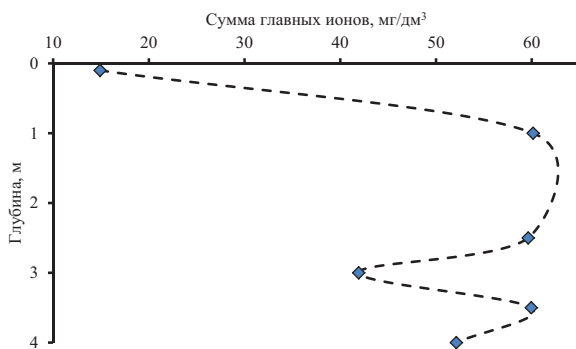
В нижних слоях торфяной залежи отмечены достаточно сильные колебания минерализации болотных вод, связанные, предположительно, с генетической неоднородностью торфов и, как следствие, неоднородностью их фильтрационных свойств (нижние слои торфяной залежи сформировались на эвтрофной стадии болотообразования, а вышерасположенные — на мезотрофной). Неоднозначное изменение концентраций в вертикальном разрезе также характерно для большинства

Таблица 1. Средний химический состав болотных вод на участке наблюдений в 2010...2011 гг. по всей глубине торфяной залежи (0...4 м)

Показатель	Единицы измерения	ПДК _{кл}	Подземные воды			Тимирязевское болото	
			зоны аэрации в Обь-Томском междуречье [11]	неоген-четвертичных отложений Томского водозабора [12]	палеогеновых отложений Томского водозабора [12]	$A \pm \delta$	N
pH	ед. pH	6,6...8,5	6,8	7,77	7,26	$5,10 \pm 0,30$	14
CO ₂	мг/дм ³	–	–	42,1	19,9	$166,2 \pm 37,2$	14
HCO ₃ [–]		–	430	281	345	$13,8 \pm 7,8$	19
SO ₄ ^{2–}		500	9,2	0,41	0,32	$15,5 \pm 3,0$	19
Cl [–]		350	25,6	4,09	6,42	$8,6 \pm 4,1$	19
Ca ²⁺		–	121	56,9	75,8	$8,7 \pm 1,5$	19
Mg ²⁺		50	15,5	15,0	14,5	$3,3 \pm 1,0$	19
Na ⁺		200	18,2 (Na ⁺ +K ⁺)	12,8	14,3	$4,0 \pm 1,0$	19
K ⁺		–	–	1,22	1,26	$2,2 \pm 0,4$	19
$\Sigma_{ми}$		1000	410	375	466	$56,1 \pm 15,4$	19
PO ₄ ^{3–}		3,5	–	–	–	$0,042 \pm 0,011$	15
NO ₂ [–]		3,3	–	0,018	0,004	$0,036 \pm 0,017$	16
NO ₃ [–]		45	–	0,02	0,03	$1,012 \pm 0,270$	16
NH ₄ ⁺		1,9	–	0,69	0,62	$4,25 \pm 0,57$	16
Si		10	–	1,57	3,55	$4,77 \pm 0,70$	14
ХПК	мгО/дм ³	15	–	1,95	2,04	$57,4 \pm 8,3$	8
ФК	мг/дм ³	–	–	–	–	$154,1 \pm 20,6$	8
ГК		–	–	–	–	$34,5 \pm 11,6$	8

Примечание: ПДК_{кл} – предельно допустимая концентрация, установленная для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения; A – среднее арифметическое; δ – погрешность определения среднего, $\delta = \sigma N^{-0,5}$; σ – среднее квадратическое отклонение; N – объём выборки; $\Sigma_{ми}$ – сумма главных ионов.

изученных веществ (NO₃[–], NO₂[–], NH₄⁺, PO₄^{3–}, Br, Co, Mn, Sr, Zn, Cu, Ba, Ni, F[–], Li, ФК, значений удельной электропроводности и перманганатной окисляемости). Линейные тенденции выявлены только для Si, Al, ГК (уменьшение с глубиной) и Сг (увеличение с глубиной; табл. 2).

**Рис. 2.** Изменение суммы главных ионов в болотных водах 02.05.2011 г. по глубине торфяной залежи (от поверхности)

Подобное распределение веществ в болотных водах в определённой степени может быть связано с атмосферным химическим загрязнением торфов, что доказывается в работе [13], либо с колебаниями уровней подземных вод вследствие работы Томского водозабора [6, 7]. Однако более значительное влияние на уровень содержания веществ в водах на разных глубинах оказывают собственно процессы болотообразования в условиях избыточного увлажнения, низкой теплообеспеченности и слабой

дренированности территории. Биогеохимические аспекты этого влияния достаточно подробно раскрыты в работах О.Л. Лисс, В.К. Бернатониса, Л.И. Инишевой, Н.М. Рассказова, В.С. Архипова и многих других [1–3, 14–16]. В частности, О.Г. Савичевой и Л.И. Инишевой [16] показано, что ферментативная активность торфов характерна для торфяной залежи на любых глубинах, из чего следует вывод о постоянной потенциальной возможности трансформации органического вещества, фактическая реализация которой наблюдается только при определённых условиях. На наш взгляд, эти условия определяются, прежде всего, водным режимом болота, который, как правило, характеризуется некоторой устойчивостью к внешним воздействиям.

В рассматриваемом случае эти воздействия, согласно [6], связаны с образованием депрессионной воронки в результате эксплуатации Томского подземного водозабора. При этом следует отметить, что анализ динамики уровней подземных вод на режимных скважинах в районе исследуемого болота (скв. 340р – аллювиальные отложения, среднее значение уровня подземных вод 93,33 м в Балтийской системе высот (БС), средняя глубина – 17,87 м; скв. 386р – водоносные отложения четвертичного и палеогенового возраста, средний уровень подземных вод – 77,53 м БС, средняя глубина – 14,66 м) не позволили сделать вывод о сколько-нибудь значительных многолетних изменениях гидродинамических условий в течение последних тридцати лет (рис. 3). Тем не менее, влия-

Таблица 2. Химический состав болотных вод в скважине № 1

Показатель	Единицы измерения	Дата отбора пробы									
		27.04.11				02.05.11					
		Глубина отбора, м									
		0,1	0,5	1,0	1,5	0,1	1,0	2,5	3,0	3,5	4,0
pH	ед. pH	3,81	5,62	5,31	5,4	–	–	5,93	–	–	–
χ	мкСм/см	70,4	108,8	46,6	131,0	–	–	116,6	–	–	–
CO ₂	мг/дм ³	59,8	174,6	154,0	400,4	–	–	255,2	–	–	–
HCO ₃ [–]		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SO ₄ ^{2–}		2,3	22,7	36,8	22,7	3,2	11,8	17,9	11,2	9,6	13,4
Cl [–]		2,0	1,8	1,1	3,0	1,7	17,7	11,5	9,0	15,1	10,6
Ca ²⁺		6,8	3,0	1,4	1,7	5,1	10,4	8,7	7,0	11,8	10,0
Mg ²⁺		0,3	0,6	0,4	0,4	1,4	2,5	2,3	1,8	3,4	2,5
Na ⁺		0,5	1,5	0,9	1,4	0,9	11,2	11,5	8,2	14,0	10,7
K ⁺		0,5	2,2	1,2	1,7	1,2	5,1	6,2	3,3	4,6	3,5
$\Sigma_{\text{ми}}$		13,9	33,2	43,2	32,3	14,9	60,1	59,6	41,9	60,0	52,1
PO ₄ ^{3–}		0,144	0,016	0,020	0,018	0,040	0,040	0,070	0,012	0,010	0,022
NO ₂ [–]		0,005	0,009	0,006	0,003	0,002	0,018	0,020	0,008	0,026	0,021
NO ₃ [–]		1,850	4,140	0,120	0,075	0,075	1,220	0,670	0,077	0,170	0,220
NH ₄ ⁺		3,36	1,09	1,70	2,14	0,92	6,77	4,91	5,99	6,82	6,57
Si		4,91	4,21	4,10	3,46	–	–	4,84	–	–	–
П.О.		97,6	107,2	103,2	91,2	–	–	–	–	–	–
ФК		–	123,6	136,1	125,6	–	–	–	–	–	–
ГК		–	20,4	14,1	10,1	–	–	–	–	–	–
F [–]		0,10	0,10	0,11	0,32	0,13	0,25	0,11	0,13	0,29	0,24
Li	мкг/дм ³	0,5	1,8	2,9	3,1	7,4	7,4	2,0	4,3	4,4	3,7
Zn		8,1	6,9	4,6	12,4	–	–	8,7	–	–	–
Cd		0,1	7,0	3,0	6,0	–	–	9,0	–	–	–
Pb		0,8	10,0	8,0	38,0	–	–	10,0	–	–	–
Cu		15,0	9,0	17,0	94,0	–	–	163,0	–	–	–
As		–	2,5	2,5	2,5	–	–	2,5	–	–	–
Mn		–	545	381	832	–	–	222	–	–	–
Al		–	635	567	529	–	–	673	–	–	–
Ba		–	43,0	77,0	41,0	–	–	38,0	–	–	–
Co		–	8,0	5,0	26,0	–	–	54,0	–	–	–
Cr		–	3,0	4,0	15,0	–	–	28,0	–	–	–
Ni		–	176,0	38,0	247,0	–	–	183,0	–	–	–
Sb		–	2,5	2,5	2,5	–	–	8,0	–	–	–
Sr		–	62,0	54,0	68,0	–	–	58,0	–	–	–
Br		–	230	63	12	63	63	39	27	57	49

Примечание: уровень болотных вод по состоянию на 27.04.2011 г. составил 27 см ниже поверхности болота, а 02.05.2011 г. – 26 см.

ние водозабора отрицать нельзя, поскольку выявленные авторами в течение 2010–2011 гг. колебания уровней в течении Тимирязевского болота (0,3...1,5 м) существенно превышали соответствующий диапазон колебаний уровней воды на Васюганском болоте (0,2...0,7 м).

Таким образом, можно предположить, что неоднозначное изменение химического состава болотных вод по глубине торфяной залежи определяется, прежде всего, средним уровнем болотных вод и амплитудой его природно-антропогенного изменения, определяющими положение границы доступа кислорода и смену фильтрационных свойств торфов, иными словами – границу биогеохимических барьеров – главных факторов увеличения концентраций ряда веществ в слоях торфяной залежи.

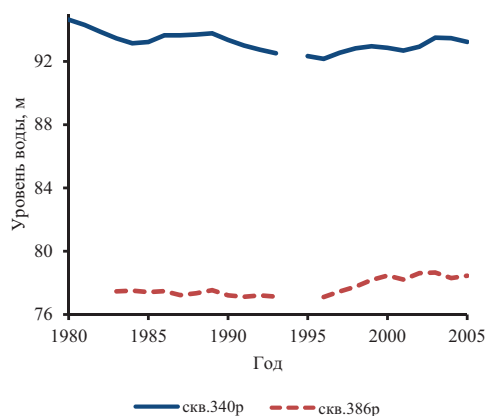


Рис. 3. Изменение уровней подземных вод за многолетний период

Изучение временных изменений химического состава болотных вод позволило установить, что максимальное содержание большинства веществ отмечается либо в весенний (Na^+ , K^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Si , перманганатная окисляемость, ХПК, ГК, ФК, Zn , Cd , Pb , Cu), либо в летний (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , сумма главных ионов $\Sigma_{\text{ми}}$) периоды (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав болотных вод в скважине № 2 на глубине 1,65...1,70 м

Показатель	Единицы измерения	Дата отбора			
		22.05.10	07.08.10	04.12.10	17.04.11
Уровень вод	см (от поверхности)	102	27	150	26
Высота поверхности болота	см (в усл. системе высот)	508	478	463	476
pH	ед. pH	5,09	6,82	6,53	6,49
χ	мксм/см	91,7	334	174,1	241
Eh	мВ	203	14	–	60
CO_2	мг/дм ³	111,3	77,4	18,5	160,2
HCO_3^-		12,2	141,5	31,7	<3
SO_4^{2-}		14,8	49,2	29,5	23,6
Cl^-		4,3	78,3	<1	1,8
Ca^{2+}		5,6	28,0	15,7	9,8
Mg^{2+}		4,1	18,7	6,7	5,0
Na^+		2,6	1,0	2,3	1,4
K^+		1,6	1,3	1,0	0,9
$\Sigma_{\text{ми}}$		45,2	318,0	87,2	43,9
PO_4^{3-}		0,025	0,019	–	0,005
NO_2^-		0,2	0,01	–	0,225
NO_3^-		1,72	0,94	–	0,3
NH_4^+		6,5	2,67	–	1,89
Si		8,17	0,92	1,89	1,54
П.О.	мгО/дм ³	62	27,2	–	28,8
ХПК		206,8	–	–	55
ФК	мг/дм ³	120,12	92,4	–	–
ГК		97,1	8,5	–	–
F-		0,05	0,26	–	0,13
Li	мкг/дм ³	3,0	3,5	4,0	0,5
Zn		370,0	5,9	0,0	5,9
Cd		0,87	0,01	0,00	0,10
Pb		16,0	0,1	0,0	0,2
Cu		1000,0	8,9	0,0	5,0

Этот факт объясняется, с одной стороны, поступлением ряда веществ с тальми водами и по-

верхностным стоком с суходолов (в том числе, в результате растворения пылевых частиц кислыми тальми и болотными водами), а с другой стороны – усилением биохимических процессов в летний период при наиболее оптимальных условиях развития макро- и микрофлоры. Именно в летние месяцы увеличивается насыщение болотных вод деятельного горизонта кислородом, возрастает интенсивность трансформации органических веществ и происходит смещение углеродного баланса в сторону увеличения концентраций гидрокарбонат-иона и, как следствие, общей минерализации.

Заключение

Разработаны и апробированы оборудование и технология отбора проб болотных вод с разных глубин торфяной залежи, позволяющие проводить гидрохимические наблюдения в течение всего года и минимизировать вероятность смешения вод с разных горизонтов торфяной залежи и контакта пробы болотной воды с атмосферным воздухом.

Изменение химического состава вод Тимирязевского болота (в районе г. Томска) в разрезе торфяной залежи характеризуется минимальными значениями минерализации в верхней части деятельного горизонта. В течение гидрологического года максимумы содержания микроэлементов, биогенных веществ и органических кислот в болотных водах отмечаются в весенний период вследствие поступления соответствующих веществ в болото с поверхностным стоком с прилегающих суходолов, с атмосферными осадками, при растворении твёрдых примесей тальми водами. Наибольшие концентрации главных ионов (за исключением Na^+ и K^+) наблюдаются в летний период при усилении биогеохимических процессов.

Подобные пространственно-временные изменения химического состава болотных вод обусловлены, прежде всего, процессами болотообразования и трансформацией органического вещества, которые, в свою очередь, связаны как с естественными (избыточное увлажнение, относительно низкая теплообеспеченность и слабая дренированность рассматриваемой территории, способствующие образованию торфа), так и с антропогенными факторами. К последним относятся, преимущественно, увеличение амплитуды колебаний уровней болотных вод в зоне влияния подземного водозабора, а также химическое загрязнение через атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин А.Е., Базанов В.А., Савичев О.Г. Принципы разработки кадастра торфяных болот (на примере районов нефтедобычи Томской области) // Охрана природы / под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 13–26.
2. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. Б.В. Куваева. – Тула: Гриф и К°, 2001. – 584 с.
3. Савичев О.Г. Химический состав болотных вод на территории Томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 1. – С. 72–77.
4. Пьявченко Н.И. Типы болотных лесов Томского стационара // Особенности болотообразования в некоторых лесных и предгорных районах Сибири и Дальнего Востока / под ред. Н.И. Пьявченко. – М.: Наука, 1965. – С. 97–113.
5. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. и др. Природно-ресурсное районирование Томской области / под ред. В.Н. Воробьева. – Томск: Изд-во «Спектр», 1997. – 40 с.
6. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2000 г. / под ред. В.А. Лыгина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2001. – Вып. 6. – 180 с.
7. Колоколова О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск: ТФ ИГНГ СО РАН, 2003. – 21 с.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах / под ред. С.М. Новикова. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 360 с.
9. РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – М.: Федер. служба России по гидрометеор. и мониторинг. среды, 2001. – 68 с.
10. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
11. Ермашова Н.А. Природный гидрогеохимический фон верхней гидродинамической зоны Среднего Приобья как основа оценки ее экологического состояния // Обской вестник. – 1999. – № 3/4. – С.106–112.
12. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
13. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск: Томск. политехн. ун-т, 2009. – 22 с.
14. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Здвизков М.А., Прейс Ю.И., Тихомирова Н.О. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: ИОА СО РАН, 2002. – С. 204–215.
15. Бахнов В.К. Биогеохимия болотного почвообразования // Болота и биосфера. Матер. V научной школы / под ред. Л.И. Инишевой. – Томск: Изд-во ЦНТИ, 2006. – С. 8–18.
16. Savicheva O.G., Inisheva L.I. Biochemical Activity of the Peat Soil of a River Marsh Ecosystem // Contemporary Problems of Ecology. – 2008. – V. 1. – № 6. – P. 667–673.

Поступила 07.10.2011 г.