

УУДК 550.46

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БОЛОТНЫХ ВОД В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ¹

© 2015 г. О.Г. Савичев

Томский политехнический университет, Россия; OSavichev@mail.ru

Поступила в редакцию 21.11.2013 г.

Обобщены данные 1993–2013 гг. о химическом составе болотных вод в таежной зоне Западной Сибири. Объектами исследований послужили более тридцати болот (преимущественно вне зон активного антропогенного воздействия), расположенных в основном на территории Томской области, частично – в Ханты-Мансийском автономном округе и Новосибирской области. Также были изучены участки одного из самых больших в мире болот – Васюганского. Показано, что наблюдается общее уменьшение содержаний растворенных солей с юга – юго-запада на север – северо-восток по мере увеличения модулей водного стока и доли верховых болот в заболоченности водосборов. На этом фоне отмечается увеличение концентрации большинства изученных веществ: 1) от водоразделов к долинам; 2) на участках с преобладающей лесо-топяной торфяной залежью по сравнению с лесной и топяной. В вертикальном разрезе торфяной залежи зафиксировано пониженное содержание растворенных солей в деятельном горизонте, повышенные – в инертном. Основными факторами пространственных изменений химического состава болотных вод являются биогеохимические условия, интенсивность водообмена, соотношение атмосферного и грунтового водного и минерального питания. Эти факторы регулирует геоботанические условия, время взаимодействия воды с твердыми частицами, условия аккумуляции и выноса продуктов трансформации органического вещества.

Ключевые слова: болотные воды, химический состав, пространственное распределение, таежная зона, Западная Сибирь.

Введение. Западно-Сибирская равнина характеризуется высокой заболоченностью, достигающей на отдельных участках 50% и более. В настоящее время наблюдается дальнейшее заболачивание территории региона, особенно в подзонах южной и средней тайги, где отмечаются средние скорости вертикального прироста торфа 0.39–0.80 мм/год при максимумах до 2.62 мм/год, а скорости прироста площади – около 100 км²/год [7, 10, 12]. Расширение площади болот сопровождается ухудшением качества поверхностных и подземных вод вследствие поступления в реки, озера и подземные водоносные горизонты болотных вод, содержащих большое количество органических и органоминеральных соединений.

В разных частях Западной Сибири, включая таежную зону, гидрологические и геоботанические условия достаточно сильно меняются. Соответственно, влияние болот на гидрохимический

режим водосборов также будет различным, что необходимо учитывать при решении научных и прикладных задач, например, при долгосрочном планировании использования и охраны водных объектов, оценке и прогнозе воздействия строительства на состояние окружающей среды региона. Благодаря исследованиям [4, 9, 11, 13, 19, 20, 22, 23] и многих других уже накоплен значительный объем данных о геохимии болотных вод региона, но требуется их обобщение и анализ, что и определило цель рассматриваемой работы – выявление закономерностей изменения химического состава болотных вод по территории региона и глубине торфяной залежи.

Исходные данные и методика исследования. Исходные данные были получены авторами совместно с В.А. Базановым, В.А. Льготиним, С.Л. Шварцевым и другими в процессе исследований, инженерных изысканий и государственного мониторинга водных объектов и выполненных в 1993–2013 гг. в Томском политехническом университете (ТПУ), Томском филиале Института

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-98045 р_сибирь_а).

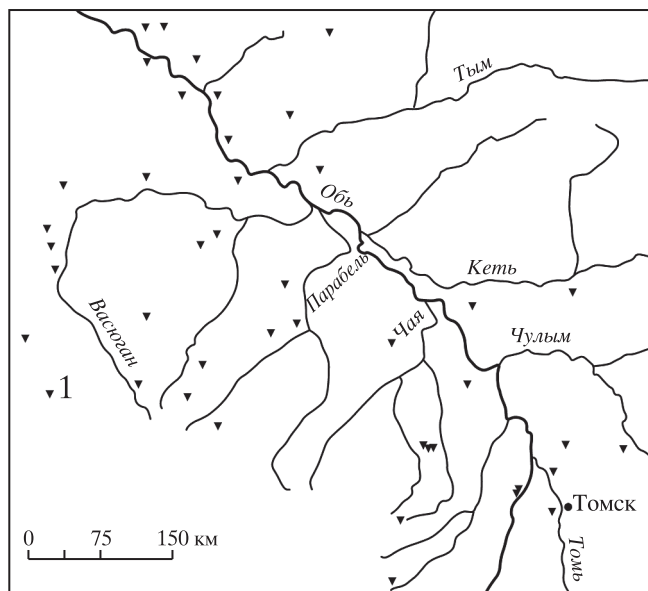


Рисунок. Схема размещения участков (1) отбора проб болотных вод в таежной зоне Западной Сибири.

геологии нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук (ТФ ИГНГ СО РАН), ОАО “Томскгеомониторинг”, ООО “ИНГЕОТЕХ”. Исследования включали: 1) полевые работы по отбору и консервации проб болотных вод для определения их состава в аккредитованных лабораториях ТПУ и ОАО “Томскгеомониторинг”, измерение в полевых условиях концентраций быстроизменяющихся компонентов; 2) обобщение и статистический анализ материалов ТПУ, Томского государственного университета (ТГУ), ТФ ИГНГ СО РАН, ОАО “Томскгеомониторинг”, ООО “ИНГЕОТЕХ” и ряда других организаций.

Объектами исследований послужили более тридцати болот (преимущественно вне зон активного антропогенного воздействия) в основном на территории Томской области, частично – в Ханты-Мансийском АО и Новосибирской области (рисунок). Были изучены участки одного из самых больших в мире болот – Васюганского. На одном из переходных долинных болот в окрестностях г. Томска дополнительно было проведено изучение изменений химического состава болотных вод в разрезе торфяной залежи с использованием скважинного оборудования и пробоотборника, разработанных А.В. Шмаковым [14].

После отбора проводилась их консервация и транспортировка в стационарные лаборатории. Одновременно выполнялось определение pH, температуры, удельной электропроводности, содержания CO_2 , NH_4^+ , NO_2^- , железа общего $\text{Fe}_{\text{общ}}$. Отбор проб болотных вод осуществлялся из деятельного горизонта торфяной залежи, под ко-

торым, согласно [2], понимается слой активного водообмена в болоте, являющийся переходным от торфяной залежи к поверхности живого растительного покрова.

При определении гидрохимических показателей в аккредитованных лабораториях ТПУ и ОАО “Томскгеомониторинг” использовались следующие методы: pH – потенциометрический; SO_4^{2-} – турбидиметрический; Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- – бихроматная окисляемость (БО), перманганатная окисляемость (ПО), гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты (ФК), CO_2 – титриметрический; соединения азота, фосфаты, Si – фотометрический; вещества, идентифицируемые как “нефтепродукты”, фенолы, Al – флуориметрический; Na^+ , K^+ , Fe, Hg – атомно-абсорбционный; Zn, Pb, Cu – атомно-абсорбционный и инверсионно-вольтамперометрический.

Анализ данных включал в себя исключение экстремально высоких значений, оценку средних арифметических значений, погрешностей их определения и средних квадратических отклонений, проверку различных выборок на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента, а также сопоставление гидрохимических, геоботанических и водохозяйственных данных.

Результаты исследования и их обсуждение. Болото – особый природный объект – проявляется как совокупность трех взаимосвязанных компонентов: болотной растительности, отложений торфа и содержащихся в них водах [2]. С учетом этого определения анализ пространственных изменений химического состава болотных вод должен базироваться на применении классификации болот или их значимых составляющих. В рассматриваемом случае была использована принятая в нашей стране генетическая классификация торфяных залежей [18], под которыми, согласно [17], понимается естественное напластование отдельных видов торфа от поверхности до минерального дна торфяного месторождения или подстилающих озерных или органо-минеральных отложений. В соответствии с этой классификацией по степени преобладания верхового, переходного и низинного торфов, рассматриваются четыре типа торфяной залежи (верховой, переходный, смешанный, низинный), отражающих определенные условия водно-минерального питания (олиго-, мезо- и евтрофные) и состав растений-торфообразователей. Внутри каждого типа, в свою очередь, выделяются лесной, лесо-топяной и топяной подтипы, что позволяет более точно дифференцировать геоботанические условия болотообразования. Соответственно этому были

Таблица 1. Химический состав болотных вод разных типов торфяной залежи

Показатель	Типы торфяной залежи					
	верховой		переходный		низинный	
	А	N	А	N	А	N
pH	4.13	38	4.97	50	6.07	47
<i>мкг/дм³</i>						
CO ₂	54.9	17	84.3	29	42.9	21
Сумма главных ионов Σ _{гп}	32.0	38	74.0	56	241.9	48
Ca ²⁺	6.8	38	12.6	56	35.6	48
Mg ²⁺	3.6	38	4.2	56	11.9	48
Na ⁺	2.3	30	3.3	39	14.3	44
K ⁺	1.1	30	1.5	39	1.8	44
HCO ₃ ⁻	9.9	38	37.7	56	164.3	48
Cl ⁻	4.6	35	6.3	55	12.1	35
SO ₄ ²⁻	2.8	35	8.9	55	4.8	35
NO ₃ ⁻	2.007	31	1.299	47	1.684	42
NO ₂ ⁻	0.052	32	0.052	49	0.071	42
NH ₄ ⁺	4.020	38	3.294	53	4.406	47
PO ₄ ³⁻	0.096	25	0.191	33	0.821	27
Si	3.34	24	4.83	30	5.48	24
Fe _{общ}	1.701	33	2.828	34	5.783	45
Фенолы	0.006	13	0.010	16	0.005	11
Нефтепродукты	0.395	23	0.160	27	0.200	27
Перманганатная окисляемость ПО, мгО/дм ³	103.6	15	85.4	25	74.4	28
Бихроматная окисляемость БО, мгО/дм ³	218.7	27	301.2	34	291.4	28
<i>мкг/дм³</i>						
Al	236.2	15	311.0	21	105.9	12
Cu	1.4	14	4.5	13	2.7	19
Zn	10.5	14	28.5	25	39.3	18
Hg	0.02	12	0.03	10	0.06	6
Pb	0.5	12	6.0	24	2.0	18

Примечание: А – среднее арифметическое, N – количество проб.

сгруппированы данные о химическом составе болотных вод в три выборки по преобладающей в районе пункта наблюдений торфяной залежи – верховой, низинной и переходной. В последнюю выборку вошли и выборочные материалы по смешанной торфяной залежи.

Анализ результатов обобщения позволил охарактеризовать болотные воды верховой и переходной торфяной залежи в среднем как пресные с очень малой минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые третьего типа (по классификации О.А. Алёкина [1]), по pH – кислые. Воды низинной залежи отличаются более высоким содержанием растворенных солей, вследствие чего относятся также к пресным, но уже со средней (в ряде случаев – с повышенной) минерализации. По химическому составу эти воды в целом гидрокарбонатные кальциевые второго типа, по pH – слабокислые (табл. 1). При этом следует отметить,

что указанные различия между водами торфяных залежей верхового, переходного и низинного типов подтверждаются результатами проверки на однородность по среднему и дисперсии (табл. 2).

Болотные воды для всех типов торфяной залежи содержат большое количество органических веществ (80–120 мгС/дм³), поступающих в болотные воды в процессе образования и трансформации торфов. В составе органических веществ обнаружены фульвокислоты (ФК), гуминовые кислоты (ГК), фенолы, ароматические и парафиновые углеводороды, карбоновые кислоты и ряд других соединений [20]. В свою очередь, продуктом трансформации органических веществ в водной среде являются ионы аммония, средняя концентрация которых изменяется от 3.294 до 4.406 мг/дм³, что существенно больше установленных в России нормативов качества воды для объектов рыбохозяйственного и хозяйственного назначения. Значительное превыше-

Таблица 2. Результаты проверки на однородность рядов гидрохимических наблюдений, сгруппированных по типам и подтипам торфяной залежи и формам исходного рельефа

Признак сравнения	Выборки		Отношение фактического и критического значений критерия однородности	Показатель			
	1	2		pH	$\Sigma_{\text{гн}}$	Fe _{общ}	БО
Тип (подтип) торфяной залежи	В (Л)	В (ЛТ)	$t_o/t_{5\%}$	0.04	0.45	0.28	1.36
	В (Л)	В (ЛТ)	$F_o/F_{5\%}$	0.50	0.33	0.28	1.04
	В (Л)	В (Т)	$t_o/t_{5\%}$	0.69	0.24	1.14	0.45
	В (Л)	В (Т)	$F_o/F_{5\%}$	0.33	0.55	0.33	0.93
	В (ЛТ)	В (Т)	$t_o/t_{5\%}$	0.57	0.10	0.51	0.38
	В (ЛТ)	В (Т)	$F_o/F_{5\%}$	0.41	0.95	0.51	0.19
	П (Л)	П (ЛТ)	$t_o/t_{5\%}$	0.65	0.16	1.87	0.64
	П (Л)	П (ЛТ)	$F_o/F_{5\%}$	0.56	0.79	217.00	9.86
	П (Л)	П (Т)	$t_o/t_{5\%}$	1.47	0.57	1.55	0.60
	П (Л)	П (Т)	$F_o/F_{5\%}$	0.42	0.36	43.88	2.19
	П (ЛТ)	П (Т)	$t_o/t_{5\%}$	0.87	0.49	0.72	0.20
	П (ЛТ)	П (Т)	$F_o/F_{5\%}$	0.38	0.69	1.51	0.94
	Н (Л)	Н (ЛТ)	$t_o/t_{5\%}$	0.44	0.63	0.34	0.02
	Н (Л)	Н (ЛТ)	$F_o/F_{5\%}$	0.35	1.05	3.09	0.58
	Н (Л)	Н (Т)	$t_o/t_{5\%}$	0.17	0.38	0.22	0.36
	Н (Л)	Н (Т)	$F_o/F_{5\%}$	0.45	0.73	0.42	5.83
	Н (ЛТ)	Н (Т)	$t_o/t_{5\%}$	0.87	1.34	0.40	0.48
	Н (ЛТ)	Н (Т)	$F_o/F_{5\%}$	0.48	2.86	4.78	2.85
	В	П	$t_o/t_{5\%}$	1.93	1.42	0.88	0.50
	В	П	$F_o/F_{5\%}$	1.40	13.87	385.97	2.18
В	Н	$t_o/t_{5\%}$	4.46	2.37	1.05	0.35	
В	Н	$F_o/F_{5\%}$	1.33	122.45	50.62	3.48	
П	Н	$t_o/t_{5\%}$	2.30	2.18	0.56	0.04	
П	Н	$F_o/F_{5\%}$	0.58	5.16	4.26	0.80	
Форма рельефа	В (W)	П (W)	$t_o/t_{5\%}$	1.08	1.15	0.82	0.65
	В (W)	П (W)	$F_o/F_{5\%}$	1.19	16.81	1.39	2.54
	В (W)	Н (W)	$t_o/t_{5\%}$	2.72	1.58	2.03	0.83
	В (W)	Н (W)	$F_o/F_{5\%}$	0.84	26.80	15.48	5.07
	П (W)	Н (W)	$t_o/t_{5\%}$	1.23	0.49	1.63	0.38
	П (W)	Н (W)	$F_o/F_{5\%}$	0.53	0.77	5.33	0.90
	П (V)	Н (V)	$t_o/t_{5\%}$	1.70	2.14	1.64	0.05
	П (V)	Н (V)	$F_o/F_{5\%}$	0.46	8.87	6.54	1.11
	П (W)	П (V)	$t_o/t_{5\%}$	1.39	0.06	2.08	0.49
	П (W)	П (V)	$F_o/F_{5\%}$	0.57	1.12	342.87	4.73
	Н (W)	Н (V)	$t_o/t_{5\%}$	1.96	1.63	0.25	0.75
	Н (W)	Н (V)	$F_o/F_{5\%}$	0.48	1.99	1.68	4.61
	W	V	$t_o/t_{5\%}$	3.91	2.52	1.52	0.72
	W	V	$F_o/F_{5\%}$	0.63	4.34	37.80	2.52

Примечание: В, П, Н – верховой, переходный и низинный типы торфяной залежи, индексы Л, ЛТ, Т – соответствующие им лесной, лесо-топяной и топяной подтипы; W, V – водораздел и долина; t_o и $t_{5\%}$ – фактическое и критическое (при уровне значимости 5%) значения критерия Стьюдента; F_o и $F_{5\%}$ – фактическое и критическое (при уровне значимости 5%) значения критерия Фишера; отношения $t_o/t_{5\%}$ и $F_o/F_{5\%}$ больше единицы свидетельствуют о неоднородности сравниваемых выборок.

ние предельно допустимых концентраций (ПДК) отмечается и по содержанию целого ряда других веществ, включая некоторые металлы, образующие с органическими кислотами устойчивые комплексы, скорость накопления которых в водной среде может превышать скорость их вывода. Именно этот

фактор, по мнению С.Л. Шварцева [19], является определяющим при формировании осадочных железных руд в районе исследований (прогнозные ресурсы железных руд категории РЗ Западно-Сибирского пояса по разным оценкам достигают 1 трлн. т [16]).

Таблица 3. Химический состав болотных вод разных подтипов торфяной залежи

Показатель	Типы и подтипы торфяной залежи																	
	верховой В						переходный П						низинный Н					
	лесной В (Л)		лесо-топяной В (ЛТ)		топяной В (Т)		лесной П (Л)		лесо-топяной П (ЛТ)		топяной П (Т)		лесной Н (Л)		лесо-топяной Н (ЛТ)		топяной Н (Т)	
	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N
pH	4.23	24	4.20	6	3.78	8	5.53	15	5.02	21	4.31	14	5.96	8	6.44	18	5.79	21
CO ₂	60.8	13	38.7	2	33.0	2	136.9	13	10.5	5	55.6	11	11.1	2	19.2	8	65.9	11
Σ _{ин}	30.1	24	36.9	6	34.1	8	78.3	20	87.7	22	46.5	14	193.6	8	372.8	19	141.8	21
Ca ²⁺	6.9	24	9.9	6	4.2	8	10.4	20	16.4	22	9.7	14	33.5	8	49.8	19	23.4	21
Mg ²⁺	3.6	24	5.5	6	2.0	8	3.0	20	6.0	22	3.0	14	11.5	8	15.5	19	8.9	21
Na ⁺	1.5	20	3.6	3	3.8	7	4.2	19	4.6	8	1.2	12	7.0	7	27.8	16	6.5	21
K ⁺	0.9	20	1.8	3	1.1	7	2.3	19	1.4	8	0.2	12	0.9	7	2.2	16	1.8	21
HCO ₃ ⁻	10.0	24	12.4	6	7.9	8	30.3	20	52.6	22	24.7	14	133.4	8	256.9	19	92.3	21
Cl ⁻	3.7	22	4.5	6	7.6	7	10.5	20	4.4	21	3.0	14	5.2	6	20.1	14	7.3	15
SO ₄ ²⁻	3.4	22	2.0	6	1.5	7	17.7	20	4.4	21	3.0	14	3.1	6	7.7	14	2.9	15
NO ₃ ⁻	2.287	21	2.421	4	0.751	6	1.106	16	1.269	17	1.556	14	1.774	8	1.984	16	1.378	18
NO ₂ ⁻	0.065	21	0.034	5	0.024	6	0.048	18	0.084	18	0.012	13	0.196	7	0.058	17	0.035	18
NH ₄ ⁺	4.944	24	1.912	6	2.831	8	3.649	18	1.649	21	5.307	14	3.505	7	4.922	19	4.240	21
PO ₄ ³⁻	0.137	15	0.044	5	0.024	5	0.039	14	0.519	9	0.108	10	0.212	3	1.155	12	0.639	12
Si	4.13	16	2.10	4	1.43	4	4.84	15	2.94	5	5.77	10	5.49	4	7.30	12	2.73	8
Fe _{общ}	1.961	21	1.645	6	0.847	6	0.985	2	2.126	18	3.993	14	3.609	8	7.859	19	4.558	18
Фенолы	0.008	9	0.001	3	0.001	1	0.002	1	0.012	12	0.005	3	0.014	2	0.004	7	0.002	2
Нефтепродукты	0.351	14	0.256	5	0.725	4	0.001	1	0.113	16	0.251	10	0.385	4	0.183	13	0.149	10
ПО, мгО/дм ³	98.7	9	150.7	3	86.9	3	78.4	12	99.4	3	92.3	10	53.7	4	51.9	12	103.7	12
БО, мгО/дм ³	168.5	18	425.4	4	233.8	5	144.0	8	394.3	16	278.1	10	208.7	7	204.8	12	471.3	9
Al	286.2	9	2.5	3	20.0	3	399.1	9	83.5	5	360.1	7	74.3	3	91.3	6	257.0	3
Cu	1.0	7	1.8	4	2.1	3	3.8	3	5.0	7	4.1	3	1.3	3	2.3	6	3.3	10
Zn	9.8	7	12.0	4	10.0	3	36.4	15	15.5	7	19.5	3	51.7	3	16.6	6	50.3	9
Hg	0.03	6	<0.01	3	0.02	3	0.04	3	<0.01	3	0.03	4	0.14	3	0.01	3	-	-
Pb	0.7	6	<0.1	3	0.5	3	7.4	14	5.4	7	0.5	3	3.2	3	1.5	5	1.9	10

Общей закономерностью изменения химического состава болотных вод в зависимости от преобладающего типа торфяной залежи являются: 1) увеличение рН, суммы главных ионов $\Sigma_{\text{ги}}$, концентраций Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , Si , Fe , Mn , Zn , Hg в ряду “верховой → переходный → низинный”; 2) увеличение перманганатной окисляемости в ряду “низинный → переходный → верховой”; 3) наиболее высокие средние значения бихроматной окисляемости и концентраций CO_2 , SO_4^{2-} , Al , Cu , Pb , фенолов в болотных водах переходной торфяной залежи (табл. 1).

Более подробное разделение данных гидрохимических наблюдений по подтипам торфяной залежи показало, что, во-первых, суммарное содержание растворенных солей в болотных водах в лесо-топяной залежи, характеризующейся более высоким разнообразием гидрологических и геоботанических условий, в среднем выше, чем в лесной и топяной для всех типов. Во-вторых, на фоне общей тенденции уменьшения средних концентраций многих веществ в ряду от низинной до верховой залежи наблюдается существенный разброс значений между подтипами. Например, концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , соединений азота и фосфора, Hg , Pb , фенолов, веществ, идентифицируемых как “нефтепродукты”, а также значения бихроматной и перманганатной окисляемости в водах переходной топяной залежи близки к соответствующим показателям верховых лесо-топяных и лесных (табл. 3). В-третьих, проверка на однородность по среднему и дисперсии при уровне значимости 5% показала, что внутри одного типа статистически значимые различия характерны: для суммы главных ионов $\Sigma_{\text{ги}}$ – между низинной лесной, топяной и лесо-топяной залежью; для рН – между переходной лесной и топяной залежью; для бихроматной окисляемости – между верховой и переходной лесной и лесо-топяной, переходной и низинной лесной, топяной и лесо-топяной залежью; для Fe – между верховой лесной и топяной залежью, переходной и низинной лесной, топяной и лесо-топяной (табл. 2).

Помимо сравнения по типам и подтипам торфяной залежи, был проведен анализ данных, сгруппированных по расположению пунктов пробоотбора на водоразделах и в долинах рек (табл. 4), что позволило выявить статистически значимые различия между этими двумя выборками (табл. 2). Наибольший уровень содержания большинства изученных веществ закономерно отмечен для долинных болот, что объясняется повышенным (по сравнению с водораздельными болотами) притоком грунтовых вод с минерализа-

цией до 700–800 мг/дм³ и более. Кроме того, было сделано предположение, что пространственные изменения химического состава болотных вод в целом связаны с удаленностью пункта от суходолов, на границе с которыми накапливаются значительные водные массы вследствие большей “пропускной” способности болот по сравнению с лесами. Так, моделирование водного стока с заболоченного водосбора реки Ключ в северо-восточной части Васюганского болота с учетом данных К.Е. Иванова [3] о проточности болотных микроландшафтов показало, что в условиях избыточного увлажнения слой водного стока в сосново-сфагново-кустарничковом болоте составляет в среднем 64 мм/год, а в прилегающем к болоту смешанном лесу – 43 мм/год [15]. Следовательно, можно ожидать переувлажнение границы между сосново-сфагново-кустарничковым болотом и лесом и ее перемещение в сторону леса при заболачивании.

В пределах переувлаженного пограничного участка формируется гидрохимический режим, отличающийся от режима основной части болота. Эти отличия могут быть связаны как с более высоким, так и с меньшим уровнем содержания растворенных солей в болотных водах в зависимости от интенсивности основных источников водно-минерального питания и их соотношения. Так, на границе суходолов и болот различного типа часто наблюдается более обильное минеральное питание за счет притока более минерализованных (по сравнению с болотными) грунтовых вод и достаточно активное взаимодействие слабокислых и кислых болотных вод с горными породами и почвами суходолов. Как следствие, происходит постепенное уменьшение суммарного содержания растворенных солей по мере удаления от суходола к центру болота. В ряде случаев может отмечаться обратное соотношение: максимальное содержание растворенных солей в основной части болота с более замедленным водообменом (например, в пределах сосново-сфагновых или сосново-сфагново-кустарничковых болот) и минимальное – на границе, часто представляющей собой переобводненный безлесный топяной участок. И тот, и другой случаи соответствуют известной обратной связи между интенсивностью водообмена и суммарным содержанием растворенных солей, характерной для других водных объектов.

В целом, независимо от характера изменений химического состава болотных вод, практически всегда в зоне евтрофных и выпуклых олиготрофных болот Западной Сибири можно выделить крайку и основную часть болота. Как показали результаты нашего анализа [8, 14, 20], а также

Таблица 4. Химический состав болотных вод различных форм исходного рельефа и типов торфяной залежи

Показатель	Форма рельефа													
	водораздел W													
	тип торфяной залежи													
	все типы		верховой		переходный		низинный		все типы		переходный		низинный	
A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	
pH	4.60	90	4.13	38	4.63	31	5.41	21	6.15	45	5.54	19	6.60	26
CO ₂	53.6	42	54.9	17	54.1	12	51.5	13	81.0	25	105.5	17	28.9	8
Σ _{ни}	63.6	90	32.0	38	72.6	31	107.4	21	216.3	52	75.8	25	346.5	27
Ca ²⁺	11.7	90	6.8	38	15.2	31	15.5	21	31.0	52	9.3	25	51.1	27
Mg ²⁺	4.8	90	3.6	38	4.7	31	7.3	21	9.8	52	3.6	25	15.6	27
Na ⁺	2.7	67	2.3	30	0.9	18	4.9	19	14.1	46	5.4	21	21.5	25
K ⁺	1.1	67	1.1	30	0.5	18	1.8	19	2.0	46	2.3	21	1.8	25
HCO ₃ ⁻	34.4	90	9.9	38	42.9	31	66.2	21	139.9	52	31.3	25	240.6	27
Cl ⁻	4.9	83	4.6	35	4.3	30	6.4	18	12.5	42	8.7	25	18.0	17
SO ₄ ²⁻	3.7	83	2.8	35	4.1	30	4.7	18	10.7	42	14.5	25	5.0	17
NO ₃ ⁻	1.941	80	2.007	31	1.596	30	2.376	19	0.969	40	0.775	17	1.113	23
NO ₂ ⁻	0.050	79	0.052	32	0.061	26	0.034	21	0.073	44	0.041	23	0.109	21
NH ₄ ⁺	3.836	89	4.020	38	3.511	30	3.967	21	3.940	49	3.012	23	4.760	26
PO ₄ ³⁻	0.237	58	0.096	25	0.163	17	0.537	16	0.633	27	0.220	16	1.234	11
Si	3.57	52	3.34	24	4.30	15	3.15	13	6.58	26	5.37	15	8.23	11
Fe _{общ}	3.150	83	1.701	33	2.348	30	6.743	20	5.200	29	6.400	4	5.015	25
Фенолы	0.005	30	0.006	13	0.003	13	0.007	4	0.015	10	0.040	3	0.004	7
Нефтепродукты	0.240	63	0.395	23	0.099	24	0.228	16	0.265	14	0.652	3	0.160	11
ПО, мгО/дм ³	94.7	48	103.6	15	95.2	15	87.5	18	61.7	20	72.7	10	50.8	10
БО, мгО/дм ³	311.3	62	218.7	27	338.7	26	509.8	9	185.4	27	179.2	8	188.0	19
Al	253.6	30	236.2	15	278.2	12	201.5	3	233.9	18	354.7	9	78.6	9
Cu	2.3	38	1.4	14	2.6	10	2.9	14	5.4	8	11.0	3	2.0	5
Zn	22.4	37	10.5	14	13.8	10	40.9	13	37.5	20	38.3	15	35.0	5
Hg	0.03	22	0.02	12	0.03	7	0.11	3	0.02	6	<0.01	3	0.03	3
Pb	1.2	34	0.5	12	0.8	9	2.1	13	7.3	20	9.1	15	2.0	5

Таблица 5. Химический состав болотных вод в Тимирязевском мезотрофном сфагново-кустарничково-сосновом болоте (скважина в 100 м от границы болота) в 3.5 км на запад от г. Томска в 2011 г. [14]

Показатель	Дата отбора пробы									
	27.04.2011 г.					02.05.2011 г.				
	Глубина отбора, м									
	0.1	0.5	1.0	1.5	0.1	1.0	2.5	3.0	3.5	4.0
pH	3.81	5.62	5.31	5.4	–	–	5.93	–	–	–
$\Sigma_{гн} \text{ мг/дм}^3$	13.9	33.2	43.2	32.3	14.9	60.1	59.6	41.9	60.0	52.1
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
HCO_3^-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Cl^-	2.0	1.8	1.1	3.0	1.7	17.7	11.5	9.0	15.1	10.6
SO_4^{2-}	2.3	22.7	36.8	22.7	3.2	11.8	17.9	11.2	9.6	13.4
NO_3^-	1.850	4.140	0.120	0.075	0.075	1.220	0.670	0.077	0.170	0.220
NO_2^-	0.005	0.009	0.006	0.003	0.002	0.018	0.020	0.008	0.026	0.021
NH_4^+	3.36	1.09	1.70	2.14	0.92	6.77	4.91	5.99	6.82	6.57
PO_4^{3-}	0.144	0.016	0.020	0.018	0.040	0.040	0.070	0.012	0.010	0.022
Si	4.91	4.21	4.10	3.46	–	–	4.84	–	–	–
ПО	97.6	107.2	103.2	91.2	–	–	–	–	–	–
ФК	–	123.6	136.1	125.6	–	–	–	–	–	–
ГК	–	20.4	14.1	10.1	–	–	–	–	–	–
мкг/дм^3										
Al	–	635	567	529	–	–	673	–	–	–
Zn	8.1	6.9	4.6	12.4	–	–	8.7	–	–	–
Pb	0.8	10.0	8.0	38.0	–	–	10.0	–	–	–

Примечание: уровень болотных вод по состоянию на 27.04.2011 г. составил 27 см ниже поверхности болота, а 02.05.2011 г. – 26 см; ГК – гуминовые кислоты; ФК – фульвокислоты.

опубликованные материалы [4, 6, 9, 11, 13, 22, 23], под понятие “окрайка болота” попадает полоса на границе болота с глубинами торфяной залежи между нулевой и средней на участке от края болота до максимальной высотной отметки поверхности болота, в пределах которой и происходит относительно заметное изменение химического состава болотных вод.

Отметим, что определение границ окрайки должно проводиться с учетом трех групп болот: 1) больших болот со значительной амплитудой колебания глубин, выпуклой поверхностью болота и стоком воды на границу болота и суходола, в реку или внутриболотное озеро; 2) больших болот со значительной амплитудой колебания глубин, с плоской или вогнутой поверхностью болота и преимущественным стоком с суходола в болото, в том числе для болот в поймах и на надпойменных террасах; 3) малых болот с незначительной амплитудой колебания глубин. Указанные особенности определяют необходимость отдельно-

го определения фоновых концентраций веществ в болотных водах окрайки и основной части исследуемого болота. В противном случае вероятность необъективной оценки состояния болота и влияния на него хозяйственной деятельности резко возрастает.

Таким образом, в распределении химического состава болотных вод по территории наиболее заметные изменения связаны с ростом содержания растворенных солей в зависимости от: 1) геоморфологических условий – в направлении от водоразделов до долин средних и больших рек, дренирующих подземные водоносные горизонты; 2) генезиса торфов и торфяной залежи – от верховой залежи всех подтипов до низинной лесотопяной; 3) интенсивности водообмена (например, по величине модуля водного стока или проточности) – по мере ее уменьшения.

Ранее совместно с В.А. Базановым, А.А. Скугаревым и А.Е. Березиным [21] на основе анализа

данных дистанционного зондирования Земли была выполнена оценка площадей распространения верховых, переходных и низинных болот в Томской области. При этом было показано, что общая заболоченность региона составляет 37%, а площадь распространения отдельных типов болот: верховых – 17%; переходных – 15.6%; низинных – 4.4%. Доля верховых болот в целом увеличивается от границы тайги и лесостепи до границы средней и северной тайги, доля низинных, напротив, снижается, но при этом они занимают значительные части речных долин.

Сопоставление указанных выше данных о заболоченности региона и зависимостей между гидрохимическими, гидрологическими, геоморфологическими и прочими характеристиками болот с учетом схем торфонакопления и болотного районирования [5–7] позволяет сделать вывод об общем снижении суммарного содержания растворенных солей в болотных водах с юга – юго-запада на север – северо-восток с максимумами минерализации на южной и юго-восточной границах Васюганского болота и минимумами – в водах водораздельных верховых болот в подзоне средней тайги (особенно в правобережной части бассейна р. Оби).

Анализ изменений химического состава болотных вод по глубине торфяной залежи проводился по менее представительной выборке, полученной преимущественно на основе данных наблюдений на Тимирязевском переходном болоте у г. Томска в течение 2008–2012 гг. [14] с привлечением результатов исследований, выполненных совместно с М.А. Здвизковым и А.В. Шмаковым на верховом и переходном участках Васюганского болота в междуречье рек Бакчар и Икса. Обобщение этих данных показало, что в вертикальном разрезе изменения химического состава болотных вод связаны с интенсивностью водообмена: минимальные содержания растворенных солей приурочены к верхней части торфяной залежи – ее деятельному горизонту (табл. 5).

Однако эта зависимость не является однозначной, что связано с характером колебаний уровня болотных вод, который, в свою очередь, определяется современным состоянием болота, условиями увлажнения (в зоне тайги Западной Сибири в среднемноголетнем разрезе увлажнение в основном избыточное, в подзоне южной тайги – нормальное) и дренированности (затруднены по всей рассматриваемой территории, но в сочетании с другими факторами, например, эрозийными процессами, могут усилить или ослабить заболочивание). Положение уровней бо-

лотных вод и амплитуда их изменения определяет положение границы доступа кислорода и смену фильтрационных свойств, иными словами – размещение биогеохимических барьеров – главных факторов увеличения концентраций веществ в соответствующих слоях торфяной залежи, расположенных ниже деятельного слоя [14].

Заключение. Анализ многолетних наблюдений в таежной зоне Западной Сибири показал, что распределение геохимических показателей болотных вод по территории региона в целом имеют зональные черты и характеризуются уменьшением суммарного содержания растворенных солей с юга – юго-запада на север – северо-восток по мере увеличения модулей водного стока и сокращения влияния подземных вод. На фоне этой закономерности проявляются тенденции увеличения концентраций большинства изученных веществ в водах: 1) долинных болот по сравнению с водораздельными; 2) участков болот с преобладанием лесо-топяной торфяной залежи по сравнению с лесной и топяной.

В вертикальном разрезе торфяной залежи наблюдаются более низкие содержания растворенных солей в деятельном горизонте по сравнению с инертным, что, как и в случае изменений по территории, связано с интенсивностью водообмена (за счет сокращения времени взаимодействия воды с твердыми частицами и через геоботанические условия) и соотношением атмосферного и грунтового водно-минерального питания. Во всех рассмотренных случаях могут наблюдаться и определенные отклонения от сформулированных выше закономерностей, обусловленные влиянием аazonальных факторов (например, составом подстилающих пород и суходолов), а также дискретностью болотных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 444 с.
2. Гидрология суши. Термины и определения. ГОСТ 19179–73. М.: Госстандарт СССР, 1975. 47 с.
3. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 280 с.
4. Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Элементы водного баланса и гидрохимическая характеристика болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Водные ресурсы. 2001. № 4. С. 410–417.
5. Карта торфяных месторождений Западной Сибири масштаба 1:1000000: Объяснительная записка / Под ред. Р.Г. Матухина. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 33 с.

6. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
7. Львов Ю.А. Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области / Под ред. И.М. Гаджиева и А.А. Земцова. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. С. 67–83.
8. Льготин В.А., Савичев О.Г., Савичева О.Г. Эколого-геохимическое состояние ненарушенных болотных систем на территории Томской области (Западная Сибирь) // Изв. Томск. политехнич. ун-та. 2008. Т. 313. № 1. С. 82–87.
9. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 63–70.
10. Нейштадт М.И. Болота Обь-Иртышского междуречья // Природные условия освоения междуречья Обь – Иртыш / Под ред. Г.Д. Рихтера. М.: ИГАН, 1972. С. 322–346.
11. Нечаева Е.Г. Эволюция равнинно-таежных геосистем Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 18–25.
12. Пологова Н.Н., Лапишина Е.Д. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд. Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 174–179.
13. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области // Изв. Томск. политехнич. ин-та. 1975. Т. 297. С. 102–117.
14. Савичев О.Г., Шмаков А.В. Вертикальная зональность и внутригодовые изменения химического состава вод Тимирязевского болота (Томск, Западная Сибирь) // Изв. Томск. политехнич. ун-та. 2012. Т. 320. № 1. С. 156–156.
15. Савичев О.Г., Бернатович П.В., Бернатович В.К. Гидрологическое обоснование хозяйственного освоения торфяных болот (на примере водосбора реки Ключ, Западная Сибирь) // Изв. Томск. политехнич. ун-та. 2012. Т. 320. № 1. С. 155–162.
16. Смыслов А.А., Межеловский Н.В., Морозов А.В. и др. Недр России. В 2 т. Т. 1. Полезные ископаемые / под ред. Н.В. Межеловского и А.А. Смылова. СПб.–М.: Горный ин-т, Межрегион. Центр по геол. картографии, 2001. 547 с.
17. Торф. Термины и определения. ГОСТ 21123–85. М.: Изд-во стандартов, 1985. 85 с.
18. Торфяные ресурсы СССР / Под ред. В.Д. Маркова, А.С. Оленина, В.Ф. Череповского. М.: Геологический фонд СССР, 1982. 352 с.
19. Шварцев С.Л., Лепокурова О.Е. Геохимия органо-генных типов подземных вод // Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. В 5 т. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / Отв. ред. Б.Н. Рыженко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. С. 218–243.
20. Shvartsev S.L., Serebrennikova O.V., Zdvizhkov M.A. et al. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast // Geochemistry Int. 2012. V. 50. № 4. P. 367–380.
21. Bazanov V.A., Berezin A.E., Savichev O.G., Skugarev A.A. The phytoindication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain // Int. Journ. of Environmental Studies. V. 66. № 4. August 2009. P. 473–484.
22. Bleuten W., Lapshina E., Ivens W. et al. Ecosystems recovery and natural degradation of spilled crude oil in peat bog ecosystems of West-Siberia // Int. Peat Journ. 1999. № 9. P. 73–82.
23. Inisheva L.I., Zemtsov A.A., Novikov S.M. Vasyugan Mire. Natural conditions, structure and functioning. Tomsk: Tomsk state pedagogical university, 2001. 160 p.

Geochemical Parameters of Bog Waters in the Taiga Zone of the Western Siberia

O. G. Savichev

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; OSavichev@mail.ru

Generalization of the 1993–2013 data on a chemical composition of bog waters in the taiga zone of Western Siberia is executed. More than thirty bogs (mainly outside of zones of active anthropogenous influence) located basically in the territory of Tomsk oblast, in part – in Khanty-Mansi Autonomous Okrug and Novosibirsk oblast, including sites of the Vasyugan Mire, were researched. The common reduction of contents of the dissolved salts from the south – a southwest on the north – northeast is observed in process of increase of a water runoff and a share of upper (oligotrophic) bogs in bogginess of river basins. On this background the increase in concentration of the majority of the investigated substances is marked: 1) from watersheds to valleys; 2) on sites with prevailing of forest-fen peat deposit in comparison with forest and fen. In a vertical section of a peat deposit the lowered contents of dissolved salts in active (upper) horizon and increased contents in the inert horizon are fixed. Many factors of spatial changes of a chemical composition of bog waters are biogeochemical conditions, intensity of water exchange, a ratio of an atmospheric and ground water and mineral feed. These factors regulate geobotanical conditions, interaction time of water with firm particles, conditions of accumulating and carrying out of transformation products of organic substance.

Keywords: bog waters, chemical composition, spatial changes, taiga zone, Western Siberia.