

УДК 556.561

ОБЩИЕ ЧЕРТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ЭВТРОФНЫХ БОЛОТНЫХ МАССИВОВ

© 2016 г. И.Л. Калюжный

ФГБУ «Государственный гидрологический институт»,
Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: Тарманское болото, Ливсянское болото, Баксинское болото, гидрохимический режим, химический состав болотных вод, гидрокарбонатно-кальциевый характер, перманганатная и бихроматная окисляемость, водородный показатель, эвтрофное болото.



И.Л. Калюжный

Хозяйственное освоение эвтрофных болот требует знаний об основных чертах формирования гидрохимического режима и химического состава их вод. Целью исследования является выявление основных закономерностей процесса формирования режима и химического состава вод эвтрофных болот. На основании комплексных многолетних исследований Тарманского, Ливсянского и Баксинского эвтрофных болот по методикам, принятым в системе Росгидромета, установлено, что режим основных ионов болотных вод зависит от гидрометеорологического режима болот и обусловлен химическим составом грунтовых вод и атмосферных осадков. Главными гидрометеорологическими факторами влияния на формирование основных компонентов химического состава болотных вод являются режим уровня воды, испарение и промерзание болота.

Показано, что эвтрофные болота в различных геоморфологических и гидрогеологических условиях залегания имеют свои особенности как в отдельных фазах гидрологического режима, так и в химическом составе вод. Эти особенности предопределяют различия состава вод одноименных микроландшафтов исследуемых болотных массивов. Результаты исследования позволяют оценить возможность использования ресурсов болотных вод в практических целях, а также влияние их компонентов на строительные конструкции и линейные сооружения, расположенные в пределах болот.

Водно-минеральное питание болот является главным фактором, определяющим развитие болотной растительности и динамику болотной системы, а также интенсивность биохимических процессов, происходящих в деятельном слое торфяной залежи. В совокупности эти процессы формируют хи-

мический состав и качество болотных вод. Под болотными водами, как водами местного стока, понимаются воды грунтового или атмосферного (или совместно того и другого) происхождения, химический состав и концентрация компонентов которых изменились под влиянием произрастающей болотной растительности и биохимических процессов ее разложения. Вернадский В.И. отмечал, что «состав болотных вод в сильной степени связан и с той растительностью (гниением ее), которая растет в водных болотных вместилищах» [1]. В классификации болотных вод В.И. Вернадского они выделены в виде вод «гипновых болот, связанных с метеорными водами».

В настоящее время достаточно детально изучен процесс формирования гидрохимического режима и химического состава вод олиготрофных болот [2, 3], но на эвтрофных болотах эти процессы являются мало исследованной областью гидрологии и гидрохимии. Отсюда возникает научная задача: исследовать процесс формирования количественного и качественного состава вод эвтрофных болот, а также их гидрохимического режима, т. к. он определяет временную изменчивость компонентов химического состава в течение года. Решение данной задачи тесно связано с хозяйственным освоением эвтрофных болот, учитывая, что применяемые инженерные решения требуют знаний об основных характеристиках формирования гидрохимического режима и химического состава болотных вод. В совокупности возникающих проблем и их решений определяется актуальность и новизна постановки научной задачи.

МЕТОДИКА РАБОТЫ

В основу анализа выполненных исследований положены материалы наблюдений за химическим составом болотных вод, которые регулярно на протяжении многолетнего периода проводились на специализированных болотных станциях Росгидромета по единой программе [4]. Анализ результатов гидрохимических наблюдений и химического состава болотных вод основан на материалах наблюдений, проведенных на следующих эвтрофных болотных массивах, расположенных в конкретных болотных провинциях России:

- болотный массив Тарманский Западно-Сибирской провинции южной тайги, березовых лесов и эв(мезо)трофных болот с участием олиготрофных сосново-сфагновых;
- болотный массив Баксинский расположен в юго-восточной части Западно-Сибирской провинции;
- болотный массив без названия (далее в исследовании назван Листвянским) приурочен к Даурско-Амурской провинции преимущественно горных лиственничников, частью сфагновых и сфагновых болот.

На исследуемых болотных массивах отбор проб для определения химического состава болотных вод происходил вдоль линии их стекания таким образом, чтобы охарактеризовать по пути движения водной массы все встречающиеся микроландшафты. Каждая проба отбиралась в свежевыкопанной лунке, 1–2 раза в месяц, дополнительно перед снеготаянием и на пике половодья.

Анализ химического состава болотных вод проводили в специализированных лабораториях территориальных УГМС по методикам, принятым в системе Росгидромета. В отобранных пробах воды определяли следующие компоненты: общая минерализация, главнейшие ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , а также фосфаты, кремний, железо, водородный показатель, перманганатная и бихроматная окисляемость.

Болотный массив Тарманский залегает на древней надпойменной террасе левого склона долины р. Туры, длина 136 км, ширина колеблется от 7 до 40 км. Площадь болотного массива составляет 1240 км². Болото подстилают четвертичные отложения морского и пресноводного происхождения, представленные пресноводными ледниковыми флювиогляциальными и континентальными образованиями. Гидрографическая сеть состоит из многочисленных озер и водотоков, впадающих в болото или берущих из него начало.

Наибольшее распространение в пределах болотного массива получили травяно-моховая и кустарничковая группа болотных микроландшафтов. Осоково-гипновые и гипново-осоковые микроландшафты характерны плоским или слабо кочковатым микрорельефом, обильным травостоем и сплошным моховым покровом. В травостое преобладают осоки: нитевидная, увлажненная, береговая, двурядная, омская и бутыльчатая. Моховой ярус представлен разнообразием гипновых мхов. Кустарниковая группа микроландшафтов наибольшее распространение получила в северной и восточной частях массива. Кустарниковый ярус густой, представлен отдельными видами березы и ивы. В травяном ярусе преобладают осоки.

Торфяная залежь Тарманского болота сложена торфами низинного типа с преобладанием осокового и осоково-гипнового торфа. Степень разложения торфов колеблется от 5 до 60 %, в среднем составляет 25 %. Средняя глубина залежи 2 м.

Болотный массив Листвянский расположен в северной части обширной Зейско-Буреинской равнины, в незатопляемой части дна долины р. Томь, к северу от с. Ромны. Рельеф окружающей местности равнинный, местами слабо всхолмленный. Грунты представлены третичными и четвертичными отложениями. Рельеф массива ровный с небольшим уклоном в сторону водоприемника.

На болотном массиве выделяются следующие микроландшафты: осоково-гипновый, вейниково-осоковый, тростниково-топяной и осоково-топяной. В травяном ярусе болота преобладают осоки: пузырчатая, топяная. Менее распространена пушица узколистная. На сильно обводненных участках – вахта, белокрыльник, тростник, сабельник, пушица маньчжурская. В моховом ярусе мхи сплошного покрова не образуют. Моховой ярус наблюдается на буграх и около них, где преобладают мхи *Drepanocladus*, *Sendtneri*, *Hypnum Protense*, *Sphagnum Subsecundum*. Осоково-гипновый микроландшафт расположен в центральной части болота, для него характерны осоковые кочки высотой 10–15 и диаметром до 15 см.

Вейниково-осоковый микроландшафт расположен по окрайкам болота. Микрорельеф представлен крупным кочкарником. В западинах произрастают осоки и очень редкие зеленые мхи из видов рода *Drepanocladus vernicosus*. Тростниково-топяной микроландшафт располагается узкими прерывистыми полосами через все болото. Основная растительность – тростник высотой до 2 м. Осоко-топяной микроландшафт также вытянут узкими полосами (50–150 м), представлен топиями и заросшими водотоками. В растительном покрове господствуют осоки, хвощи болотные, низкорослый тростник, сабельник, вахта и белокрыльник.

Торфяная залежь массива сложена торфом низинного типа с преобладанием осок, однообразна по глубине. Средняя глубина 0,4–0,5 м; наибольшая – свыше 2 м. Местами встречаются участки «островной» вечной мерзлоты на глубине 0,6–1,5 м. Внешними водоприемниками являются три ручья и речка, вытекающая из болота.

Болотный массив Баксинский расположен на водоразделе рек Каргата и Баксы. Рельеф окружающей местности равнинный. Грунт, подстилающий болото, представлен глиной. На болоте преобладают мохово-травяные микроландшафты. Травяные встречаются на периферии, осоковые и осоково-злаковые кочкарники – вдоль дренирующего водотока. В травяном покрове осокового микроландшафта господствуют осоки: омская, круглостебельная, бутылчатая и нитевидная. Встречаются тростник, вейник, папоротник, сабельник, морковник, калужница и вербейник обыкновенный. Моховой покров отсутствует. В редком древесном ярусе произрастает береза пушистая высотой 5–15 м.

Травостой гипново-осокового микроландшафта состоит из осок (круглостебельной, бутылчатой, нитевидной, болотной и двурядной), вахты, пушицы, хвоща и сабельника. Кустарничковый ярус представлен карликовой березкой. В моховом покрове господствуют гипновые мхи. Древесный ярус отсутствует. Микрорельеф – плоский.

Осоково-березовый микроландшафт кочковатый. Древесный ярус представлен березой пушистой высотой 3–8 м. В кустарничковом ярусе преоб-

ладают береза низкая и тальник ползучий. Травяной ярус состоит из осок, тростника, сабельника, хвоща и таволги. Моховой покров встречается только на кочках и представлен гипновыми мхами. Торфяная залежь мощностью от 0,5 до 2,30 м сложена осоково-низинными, осоково-тростниковыми и тростниковыми торфами со степенью разложения 20–35 %.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОД ЭВТРОФНЫХ БОЛОТ

Минеральное питание эвтрофных болотных массивов осуществляется грунтовыми водами и атмосферными осадками, в меньшей мере за счет поверхностно-сточных вод.

Проведенные на Тарманском и Листвянском болотных массивах исследования показали, что гидрохимический режим и химический состав их болотных вод тесно связан с гидрометеорологическими процессами, протекающими на болотах. В табл. 1 приведены результаты анализов химического состава вод Тарманского болота во все периоды года. Увеличение общей минерализации на этом болоте в осенне-зимний период объясняется вытеснением ионов из солевого раствора при промерзании торфяной залежи. Расчеты показывают, что в осоковом кочкарнике минерализация увеличивается в среднем на 25 мг/дм³ при увеличении промерзания на 1 см, в осоково-гипновом – на 14,9 мг/дм³. Весной на Тарманском болоте под влиянием таяния слабо минерализованного снега солевой раствор разбавляется, минерализация воды понижается от 992 до 647,3 мг/дм³, на Листвянском – от 297 до 40 мг/дм³.

В период вегетации болотной растительности формирование химического состава происходит под влиянием двух факторов: активизации биологических процессов, вследствие которых болотные растения потребляют значительную часть минеральных компонентов из болотной воды, и процесса испарения, повышающего концентрацию ионов в растворе. Концентрация усиливается еще и тем, что выше уровня болотных вод происходит интенсивный распад органических веществ. Освободившиеся минеральные и органические компоненты остаются в порах торфа. Выпадающие атмосферные осадки их вымывают, повышая минерализацию и содержание растворенного органического вещества в болотных водах. Результирующее действие этих факторов приводит к тому, что за летний период к концу вегетационного сезона минерализация болотных вод и содержание органического вещества заметно повышаются.

Осенью некоторое влияние оказывают осадки, уменьшая минерализацию путем разбавления, но в целом она на Тарманском болоте остается довольно высокой: в августе 825 мг/дм³, в сентябре 813 мг/дм³. Аналогичные закономерности, обусловленные фазами гидрологического режима, наблюдаются на Листвянском и Баксинском болотах.

Таблица 1. Временная и пространственная изменчивость основных компонентов химического состава вод Тарманского болотного массива

Месяц	pH	Содержание элементов, мг/дм ³							Кремний, мг Si/дм ³	Железо общее, мг Fe/дм ³
		сумма ионов	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		
Осоковый кочкарник										
IV	6,89	925,8	68,9	46,1	121,8	603,3	8,8	76,9	8,0	1,38
V	6,88	647,3	50,4	45,6	62,3	425,4	4,0	66,2	6,4	1,34
VI	6,89	594,7	33,6	27,6	100,5	356,6	1,5	74,6	8,3	
VII	6,78	890,4	63,0	50,8	121,7	526,9	6,4	121,6	6,1	0,48
VIII	6,87	825,3	65,6	43,1	107,0	512,8	3,2	93,5	7,8	0,54
IX	6,63	812,6	55,6	43,4	113,9	499,7	2,0	97,9	5,3	1,73
X	6,66	1009	80,4	59,2	113,1	661,0	3,5	91,6	6,6	1,76
XI	6,60	992,0	70,3	55,0	123,1	636,9	8,0	98,7	3,2	1,58
Гипново-осоковый микроландшафт										
IV	6,92	1082,0	101,2	51,6	86,8	679,4	10,8	50,7	8,0	0,75
V	6,87	756,7	85,7	48,7	53,1	514,8	2,4	59,6	7,2	0,61
VI	7,30	574,2	70,8	25,0	46,6	386,5	4,1	39,2	8,8	0,04
VII	6,40	627,8	67,2	31,4	61,2	405,9	2,7	59,4	4,9	1,21
VIII	6,53	915,7	97,4	41,8	93,2	608,0	7,4	47,1	8,7	0,11
IX	6,30	896,0	97,8	51,1	68,5	614,8	2,1	61,8	7,0	0,94
X	6,80	855,3	92,6	50,1	64,6	590,4	2,7	58,3	6,1	0,84
XI	6,70	823,2	90,4	50,1	53,9	562,2	6,1	60,4	7,8	0,52
Грядово-мочажинный комплекс, мочажина										
IV	7,97	761,4	85,8	40,3	59,4	522,6	3,7	49,6	7,0	1,75
V	6,95	570,0	67,5	36,9	32,5	379,9	4,2	49,0	6,7	1,46
VI	7,75	378,7	42,6	18,0	35,2	247,2	5,6	30,0	8,4	1,30
VII	6,62	535,4	60,9	27,4	44,6	352,0	4,2	41,1	6,2	1,31
VIII	6,67	578,2	69,4	36,9	56,1	402,3	3,2	39,6	9,8	0,40
IX	6,20	516,5	62,7	22,5	55,6	337,1	1,8	45,6	2,2	0,96
X	6,65	597,2	67,1	30,5	53,5	385,9	2,8	57,2	6,2	1,28
XI	6,47	567,8	64,9	30,4	35,4	380,5	2,1	45,3		

В многолетнем ряду наблюдений существенно проявляется изменчивость общей минерализации в водах различных микроландшафтов исследованных болот. Результаты анализов по Тарманскому (табл. 1), Листвянскому (табл. 2) и Баксинскому (табл. 3) болотам подтверждают эту природную закономерность.

Таблица 2. Статистические характеристики компонентов химического состава болотных вод Листвянского болотного массива

Характеристики	Компоненты химического состава болотных вод, мг/дм ³										pH
	Сумма ионов	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	P	Si	Fe	
Осоково-топяной микроландшафт											
Среднее	74,2	9,10	3,15	6,23	49,2	4,71	2,03	0,022	4,53	2,12	6,37
max	208,0	29,8	13,0	22,5	159,2	19,7	8,6	0,124	11,8	26,0	6,80
min	27,7	2,90	0,5	0,0	11,6	0,8	0,3	0,001	1,00	0,0	6,05
Осоково-гипновый микроландшафт											
Среднее	96,6	9,90	4,05	9,85	50,8	5,98	2,58	0,083	5,87	6,40	6,27
max	330,7	35,3	13,6	44,8	234,2	32,8	7,9	1,000	20,0	30,0	6,70
min	32,1	3,20	0,0	0,2	4,60	0,8	0,0	0,002	1,50	0,49	6,00
Вейниково-осоковый микроландшафт											
Среднее	73,3	7,94	2,95	7,09	48,7	4,13	2,02	0,082	3,92	2,06	6,45
max	216,5	25,7	12,3	26,0	157,4	10,6	7,7	0,550	10,0	14,8	7,20
min	20,8	0,70	0,7	0,0	12,2	1,3	0,0	0,003	1,0	0,04	6,00
Диапазон изменения компонентов химического состава болотных вод в пределах болота											
Среднее	81,4	9,00	3,38	7,72	49,6	4,94	2,21	0,062	4,77	3,52	6,36
max	330,7	35,3	13,6	26,0	234,2	32,8	8,6	1,000	20,0	30,0	7,20
min	20,8	0,70	0,0	0,0	4,60	0,80	0,0	0,001	1,00	0,0	6,00

Наиболее минерализованные воды на эвтрофных болотах встречаются в осоково-злаковых и тростниково-осоковых фитоценозах с присутствием гипновых мхов. Наибольшей минерализацией обладают воды осокового кочкарника (868 мг/дм³), приуроченного к окрайке болота, наименьшей – воды гряд грядово-мочажинного комплекса (398 мг/дм³). Наибольшая

Таблица 3. Основные компоненты химического состава вод Баксинского болота

Сумма ионов, мг/дм ³	Компоненты химического состава болотных вод, мг/дм ³								
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Фосфаты, мгP/дм ³	Кремний, мгSi/дм ³	Железо общее, мгFe/дм ³
Осоковый кочкарник в зоне контакта с минеральной почвой									
927,9	51,3	85,7	64,2	698,6	8,6	19,5	0,050	2,3	0,0
Осоково-березовый кочкарник									
244,6	24,5	14,4	20,8	166,0	2,5	16,4	0,014	1,5	0,38
Гипново-осоковый микроландшафт									
273,1	24,5	14,4	20,8	166,0	2,5	16,4	0,046	1,4	0,18

изменчивость общей минерализации наблюдается в осоковом кочкарнике (коэффициент вариации 0,51), наименьшая – в водах гряд грядово-мочажинного комплекса (0,06). На Баксинском болоте наиболее минерализованные воды (928 мг/дм³) выявлены также в осоковом кочкарнике, расположенном в зоне контакта болота с суходолом. На Листвянском болоте их наибольшие значения приурочены к осоковому кочкарнику (200 мг/дм³) и осоково-гипновому микроландшафту (330 мг/дм³).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ЭВТРОФНЫХ БОЛОТ

Катионный состав вод эвтрофных болот представлен кальцием, магнием, натрием и калием; анионный – гидрокарбонатным ионом, сульфатами и хлоридами.

В табл. 1 приведены средние месячные значения общей минерализации и содержание главнейших ионов в отдельных микроландшафтах Тарманского болота. Анализ таблицы показывает, что главной особенностью болотных вод является их резко выраженный гидрокарбонатно-кальциевый характер. Гидрокарбонатный ион является преобладающим, его среднее содержание в водах Тарманского болота составляет 65 % от суммы ионов.

Уравнения связи между общей минерализацией ($M_{\text{ом}}$) и гидрокарбонатным ионом в микроландшафтах Тарманского и Листвянского болот приведены в табл. 4. Их коэффициенты корреляции не ниже 0,92. В осоковом кочкарнике Тарманского болота гидрокарбонатный характер воды проявляется более резко, чем в других микроландшафтах, здесь ощущается влияние поверхностного стока со стороны суходола.

Согласно приведенным в табл. 4 уравнениям, коэффициент пропорциональности в зависимостях $M_{\text{ом}} = f(\text{HCO}_3^-)$ увеличивается от середины к

окрыеке болота. Соотношение ионов в болотных водах стремится к пределу, определяемому отношением общей минерализации к содержанию HCO_3^- для чистого раствора Са (HCO_3^-). Гидрокарбонатный коэффициент для чистого раствора равен 1,33 [5] и он незначительно отличается от аналогичных коэффициентов уравнений в табл. 4.

Таблица 4. Зависимости общей минерализации болотных вод ($M_{\text{ом}}$, мг/дм³) от содержания гидрокарбонатного иона в водах микрорландшафтов Тарманского и Листвянского болот, мг/дм³

Болото Тарманское		Болото Листвянское	
Микрорландшафт	Зависимость $f(\text{HCO}_3^-)$	Микрорландшафт	Зависимость $f(\text{HCO}_3^-)$
Осоково-гипновый	$1,34(\text{HCO}_3^-) + 75$	Осоково-топяной	$1,392(\text{HCO}_3^-) + 3,85$
Грядово-мочажинный, гряда	$1,36(\text{HCO}_3^-) + 35$	Осоково-гипновый	$1,388(\text{HCO}_3^-) + 7,12$
Мочажина	$1,36(\text{HCO}_3^-) + 40$	Осоково-тростниковый	$1,368(\text{HCO}_3^-) + 6,34$
Гипново-осоковый	$1,51(\text{HCO}_3^-) - 15$		
Осоковый кочкарник	$1,55(\text{HCO}_3^-) + 59$		
Обобщенная зависимость по болоту	$1,44(\text{HCO}_3^-) + 35$		$1,349(\text{HCO}_3^-) + 8,14$

Близость коэффициентов пропорциональности в уравнениях зависимости $M_{\text{ом}} = f(\text{HCO}_3^-)$ для вод ряда основных микрорландшафтов болота позволяет получить обобщенные зависимости для Тарманского и Листвянского болот. Для вод Тарманского болота она описывается уравнением

$$M_{\text{ом}} = 1,437(\text{HCO}_3^-) + 35,3. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции этой зависимости $R = 0,993$.

Для Листвянского болота она приведена на рис. 1 и описывается уравнением

$$M_{\text{ом}} = 1,349(\text{HCO}_3^-) + 8,14 \text{ при } R = 0,991. \quad (2)$$

Преобладающим по абсолютному содержанию катионов в химическом составе вод эвтрофных болот являются ионы Ca^{2+} . Результаты химического состава грунтовых вод, отобранных со скважин глубиной 4–6 м на Тарманском болоте, показывают, что при общей минерализации в диапазоне от 559 до 2080 мг/дм³ содержание HCO_3^- и Ca^{2+} изменяется от 415 до 939 мг/дм³



и от 75 до 300 мг/дм³ соответственно. Содержание главных ионов в болотных и грунтовых водах – в близких пределах. Среднее многолетнее содержание ионов Ca²⁺ в болотных водах достигает 90 мг/дм³, среднее содержание HCO₃⁻ – 559 мг/дм³. Эвтрофные болота питаются грунтовыми водами, богатыми растворимыми формами кальция. Грунтовые и болотные воды носят ярко выраженный гидрокарбонатно-кальциевый характер. Для болотных вод коэффициент пропорциональности в уравнениях $I_{Ca} = f(HCO_3^-)$ (табл. 5) изменяется в узких пределах 0,11–0,12. Отличие в этих коэффициентах свидетельствует о небольшой пространственной изменчивости соотношения ионов Ca²⁺ и HCO₃⁻ в водах болота.

В водах эвтрофных болот по сравнению с атмосферными осадками содержится большое количество ионов хлора. В осадках их содержание изменяется в пределах от 0,0 до 1,5 мг/дм³, в болотных водах в среднем – 58 мг/дм³. Следовательно, их источником являются также грунтовые воды. Сопоставления химического состава грунтовых и болотных вод подтверждают этот вывод. Зависимости между общей минерализацией и содержанием ионов хлора в водах микроландшафтов Тарманского болота (табл. 5) показывают, что их угловые коэффициенты близки между собой. Это подтверждает их зависимость от грунтовых вод, за исключением вод осокового кочкарника, где вероятно сказывается влияние со стороны поверхностных вод суходола.

Наблюдения за характеристиками режима уровней воды на болоте показывают, что грунтовые и болотные воды гидравлически связаны. При

их взаимодействии солевой раствор грунтовых вод подвергается процессу метаморфизма под влиянием распада болотной растительности. Следовательно, гидрохимический режим и формирование химического состава вод эвтрофных болот тесно связаны с гидрогеологическими, климатическими и геоморфологическими особенностями развития болотного массива.

Таблица 5. Зависимости $I_{Ca} = f(\text{HCO}_3^-)$ и $M_{om} = f(\text{Cl}^-)$ для ряда болотных микроландшафтов Тарманского болота

Микроландшафт	Зависимости	
	$I_{Ca} = f(\text{HCO}_3^-)$, мг/дм ³	$M_{om} = f(\text{Cl}^-)$, мг/дм ³
Осоково-гипновый	$I_{Ca} = 0,12 (\text{HCO}_3^-) + 9,7$	$M_{om} = 25,0 \text{Cl}^- - 770$
Грядово-мочажинный, гряда	$I_{Ca} = 0,12 (\text{HCO}_3^-) + 11,1$	$M_{om} = 20,0 \text{Cl}^- - 260$
Мочажина	$I_{Ca} = 0,18 (\text{HCO}_3^-) - 1,5$	$M_{om} = 17,3 \text{Cl}^- - 60$
Гипново-осоковый	$I_{Ca} = 0,12 (\text{HCO}_3^-) + 23,1$	$M_{om} = 20,0 \text{Cl}^- - 334$
Осоковый кочкарник	$I_{Ca} = 0,11 (\text{HCO}_3^-) + 1,5$	$M_{om} = 12,5 \text{Cl}^- - 195$

Примечание: I_{Ca} – содержание ионов кальция.

Анализ статистических характеристик компонентов химического состава вод эвтрофного болота Тарманское показывает значительную изменчивость всех компонентов. Коэффициент вариации элементов не зависит от типа микроландшафта.

Для вод всех микроландшафтов эвтрофных болот наблюдается следующая закономерность: коэффициент вариации содержания магния практически всегда больше кальция. По степени вариации в болотных водах ионы располагаются в следующий ряд: $\text{SO}_4^- > \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^-$, а их коэффициенты вариации $1,26 > 0,56 > 0,51 > 0,47 > 0,45$.

Изменение содержания в водах Тарманского болота общей минерализации и основных ионов за многолетний период находится в следующих пределах: общей минерализации от 90,4 до 2076 мг/дм³; Ca^{2+} от 6,4 до 200 мг/дм³; Mg^{2+} от 2,4 до 120 мг/дм³; HCO_3^- от 33,6 до 1393,8 мг/дм³; SO_4^- от 0 до 28,6 мг/дм³; Cl^- от 7,4 до 193,8 мг/дм³. Верхний предел содержания главных ионов вод болот Листвянского и Баксинского находится ниже их содержания в водах Тарманского болота.

Результаты сравнения средних значений компонентов химического состава вод одноименных микроландшафтов болотных массивов Тарманского, Листвянского и Баксинского показывают, что их содержание значительно различается.

Минеральные примеси в виде пыли и других компонентов являются источниками поступления различных химических элементов в болотные воды. Они представлены микрочастицами глины, полевых шпатов и кварца. При их растворении высвобождается кремний и алюминий, железо, калий, кальций и другие элементы. Кремний в водах рассматриваемых болот изменяется в относительно небольших пределах: на Тарманском болоте – от 2,2 до 11,2 мгSi/дм³, в среднем 6,6 мгSi/дм³; на Баксинском его содержание равно 1,4 ÷ 2,3 мгSi/дм³. Изменчивость содержания кремния на Ливьянском болоте довольно значительная от 1,0 до 20 мгSi/дм³, его средние значения на входе в болото (топи) 4,52, на выходе 3,91 мгSi/дм³, что свидетельствует о поглощении части кремния растительностью болота. Кремнезем, содержащийся в ионно-растворимой фракции органического вещества, вымывается из торфа.

Железо в водах низинных болот почти полностью находится в виде связанных форм. Ионы трехвалентного железа находятся в связанном состоянии и аккумулируют растворенное органическое вещество в болотных водах. Содержание железа общего в водах Тарманского болота в среднем 0,96 мгFe/дм³, в Ливьянском 3,52 при изменении от 0,00 до 30,0 мгFe/дм³. Среднее содержание фосфатов в водах эвтрофных болот 0,062 мгP/дм³, изменяется в пределах от 0,001 до 1,000 мгP/дм³.

Отличительной характеристикой химического состава вод эвтрофных болот являются три главных иона: гидрокарбонатный, кальция и магния. Их содержание является наиболее значительным признаком, характеризующим различие вод эвтрофных и олиготрофных болот. Среднее содержание ионов Ca²⁺ (0,8–4,0 мг/дм³) и Mg²⁺ (0,4–0,7 мг/дм³) в олиготрофных болотах [2, 3] во много раз меньше их содержания в эвтрофных болотах, где Ca²⁺ изменяется в пределах от 40 до 89 мг/дм³, а Mg²⁺ от 22 до 48 мг/дм³. Ион HCO₃⁻ присутствует в большом количестве только в водах эвтрофных болот.

В водах эвтрофных болот, также как и в олиготрофных [2, 3], содержится большое количество органического вещества, главным компонентом которого являются органические кислоты. Содержание органического вещества определяется косвенным путем: методом определения перманганатной и бихроматной окисляемости. Окисление органики болотных вод бихроматом в растворе серной кислоты достигает 100 %.

На эвтрофных болотах наблюдается сезонное изменение величин, характеризующих наличие в водах органики, бихроматной и перманганатной окисляемости. Наименьшее значение бихроматной окисляемости отмечается в весенний период, летом окисляемость увеличивается. Осенью с дождевыми водами органическое вещество выносится за пределы болота, а цветность и окисляемость уменьшаются (табл. 6).

Таблица 6. Бихроматная окисляемость вод Тарманского болота, мгО/дм³

Микроландшафт	Месяцы							Средняя	Наименьшая	Наибольшая
	IV	V	VI	VIII	IX	X	XI			
Осоковый кочкарник	100,1	100,7	69,9	55,4	123,4	90,6	59,6	85,7	42,6	209
Осоково-гипновый кустарничковый	99,6	94,1	98,8	66,0	114,2	102,5	61,5	91,0	48,2	204
Гипново-осоковый мозаичный	95,6	70,4	79,6	45,7	89,2	88,8	48,7	74,0	37,2	189

На Тарманском болоте окисляемость болотных вод изменяется в широких пределах: перманганатная от 16 до 170 мгО/дм³, бихроматная от 47 до 209 мгО/дм³. Микроландшафты, приуроченные к окрайке болотного массива (в частности – осоковый кочкарник), имеют окисляемость значительно большую, чем его центральные части. Наименьшая окисляемость наблюдается в водах грядово-мочажинного комплекса. Результаты сравнения бихроматной окисляемости вод Тарманского и Листвянского болот (среднее значение 45,6 мгО/дм³, средние наибольшие и наименьшие 18 и 132 мгО/дм³ соответственно) показывают, что ее средние и характерные значения в водах первого массива в 1,5–2,0 раза больше, чем во втором. Объяснить это можно тем, что Листвянское болото является проточным и растворимые формы органики интенсивно выносятся болотными водами в дренирующий водоток. На Тарманском болоте степень дренированности более слабая, что и приводит к накоплению органического вещества в болотных водах.

Между бихроматной и перманганатной окисляемостью существует тесная взаимозависимость, которая представлена на рис. 2 для вод Листвянского болота. Перманганатная окисляемость выражается уравнением вида

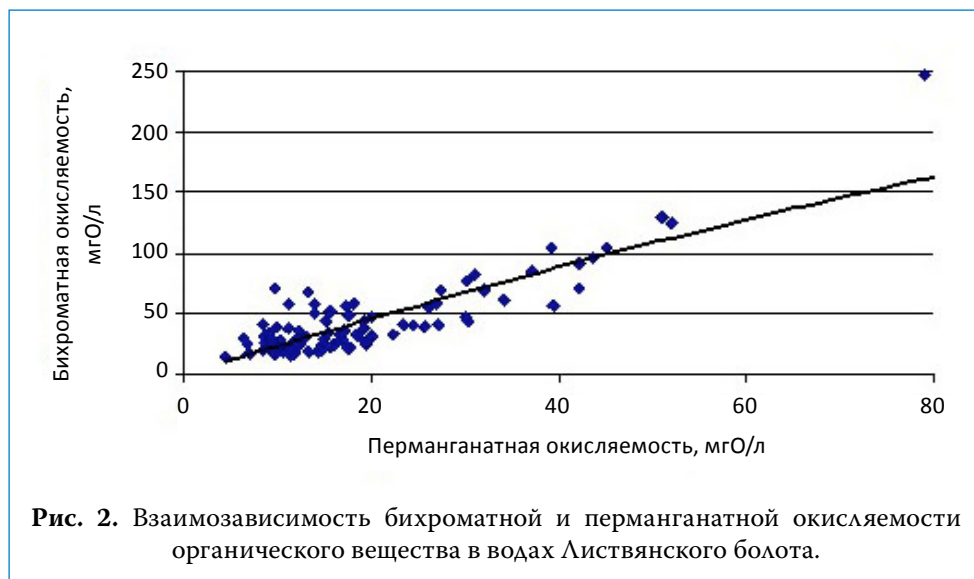
$$Q_{\text{бих}} = 0,036Q_{\text{пер}}^2 + 0,042Q_{\text{пер}} + 25, \quad (3)$$

где $Q_{\text{бих}}$ – бихроматная окисляемость;
 $Q_{\text{пер}}$ – перманганатная окисляемость;
 $R = 0,92$.

Аналогичная зависимость, но более слабо выраженная, наблюдается и в водах Тарманского болота. Ее аналитическое выражение имеет вид

$$Q_{\text{бих}} = -0,081Q_{\text{пер}}^2 + 10,23Q_{\text{пер}} - 182 \text{ при } R = 0,90. \quad (4)$$

На Баксинском болотном массиве характеристики окисляемости (перманганатная 33,0 мгО/дм³, бихроматная 65,0 мгО/дм³) близки к аналогичным на рассматриваемых болотах. Исключением являются воды осокового кочкарника (2,6 и 11,0 мгО/дм³ соответственно), что объясняется его расположением в контактной зоне болота и суходола. На его воды оказывают влияние грунтовые воды суходола, бедные органическим веществом.



Наибольшее содержание органического вещества в водах Тарманского болота в пересчете по перманганатной окисляемости составляет 78 мг/дм³, по бихроматной 132 мг/дм³. По данным Ефимовой З.С. [6], определявшей органическое вещество по общему углероду, мигрирующему в болотных водах, количество органического вещества в водах эвтрофных болот Ленинградской области достигает 136 мг/дм³.

Кислотность среды имеет существенное значение для характеристики болотных вод. По пределам изменения водородного показателя (рН от 6 до 8,05) воды эвтрофных болот относятся к нейтральным и слабощелочным. Степень изменчивости рН крайне низкая. Коэффициент вариации изменяется в пределах от 0,04 до 0,06. Среднеквадратическое отклонение не выходит за пределы от 0,28 до 0,41 единицы рН. Наибольшее значение водородного показателя (8,05) определено в мочажинах грядово-мочажинного комплекса, наименьшее – в грядах этого комплекса и в гипново-осоковом микроландшафте. Характеристики водородного показателя близки в водах Тарманского, Листвянского и Баксинского болот.

Несмотря на довольно высокое содержание органических веществ, кислотность эвтрофных болот значительно меньше олиготрофных [2, 3, 7, 8]. Это связано с содержанием в водах эвтрофных болот ионов кальция, который нейтрализует кислотность и влияет на уменьшение концентрации водородных ионов. Проведенные исследования показывают, что по мере уменьшения ионов кальция, до 25 мг/дм^3 и меньше, эвтрофную болотную растительность сменяет мезотрофная, а затем при содержании кальция менее 5 мг/дм^3 на болотных массивах произрастает олиготрофная растительность. Полученные результаты по содержанию химического состава болотных вод не противоречат результатам [10–13], но значительно уточняют сведения о временной изменчивости содержания минеральных и органических компонентов в различных фазах гидрологического режима болота.

Из-за большого содержания органического вещества и железа воды эвтрофных болот с естественным химическим составом без предварительной обработки не могут быть использованы для бытового водоснабжения и промышленно-технических целей. К аналогичным выводам пришли и авторы [12]. По результатам оценки агрессивности водам эвтрофных болот свойственна в ряде случаев выщелачивающая и общекислотная агрессивность на бетон.

ВЫВОДЫ

Гидрохимический режим эвтрофных болот в значительной степени зависит от фаз их гидрологического режима. В зимний период увеличение концентрации ионов обусловлено процессом вытеснения их из солевого раствора растущими кристаллами льда. Таяние снега и выпадающие жидкие осадки уменьшают концентрацию ионов. Испарение в период вегетации растительности ее повышает.

Определяющим фактором химического состава болотных вод является химический состав выклинивающихся подземных вод, которые преобразовываются под действием осадков и произрастающей растительности в воды с иными концентрациями химических элементов и большим содержанием органического вещества. Эвтрофные болота в различных геоморфологических и гидрогеологических условиях залегания имеют в химическом составе болотных вод свои особенности, обусловленные концентрацией отдельных ионов.

Отличительной характеристикой химического состава вод эвтрофных болот является ярко выраженный гидрокарбонатно-кальциевый характер с наличием трех главных ионов – гидрокарбонатного, кальция и магния. Среднее содержание ионов Ca^{2+} в эвтрофных болотах изменяется в пределах от 40 до 89 мг/дм^3 , а Mg^{2+} от 22 до 48 мг/дм^3 . Общая минерализа-

ция вод эвтрофных болот достигает более 2090 мг/дм³. Ион HCO₃⁻ присутствует в большом количестве только в водах эвтрофных болот и в среднем многолетнем содержании достигает 560 мг/дм³, изменяясь при этом от 10 до 1900 мг/дм³.

Воды эвтрофных болот богаты содержанием органического вещества. Окисляемость вод изменяется в широких пределах: перманганатная – от 8–10 до 170 мгО/дм³, бихроматная от 47 до 209 мгО/дм³. Водородный показатель достигает 8 pH.

Сравнение концентрации конкретных ионов в водах одноименных микроландшафтов рассматриваемых болот показывает, что их содержание значительно различается.

Выполненные исследования в научном плане дают объективную характеристику взаимосвязи химического состава болотных вод, растительного покрова и режима водно-минерального питания болот на современной стадии их генезиса. Процесс формирования гидрохимического режима болотных вод во всех фазах гидрологического режима эвтрофных болот России рассмотрен впервые. Результаты исследования позволяют оценить возможность использования ресурсов болотных вод в практических целях, а также влияние их компонентов на строительные конструкции и линейные сооружения, расположенные в пределах болот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 4. М.: Изд. АН СССР, 1960. 500 с.
2. Калюжный И.Л., Левандовская Л.Я. Гидрохимический режим и химический состав вод олиготрофных болотных массивов // Тр. ГГИ, 1974. Вып. 222. С. 99–118.
3. Черняев А.М., Черняева Л.Е., Еремеева М.Е. Гидрохимия болот. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 430 с.
4. Наставление гидрологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 360 с.
5. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1955. 352 с.
6. Ефимова З.С. О содержании углерода и азота в поверхностных водах торфяных почв // Записки ЛСХИ. 1970. Т. 137. Вып. 4. С. 54–60.
7. Инишева Л.И. Условия формирования и геохимия болотных вод // Болота и биосфера. Мат-лы II научн. школы. Томск: Изд-во ТГПУ, 2003. С. 38–49.
8. Лисс О.А., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. В.Б. Куваева. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
9. Смагин В.А. Эвтрофные болота таежной зоны Европейской части России: типология и растительный покров // Болотные экосистемы севера Европы: раз-

- нообразии, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. Петрозаводск, 2006. С. 231–242.
10. *Расказов Н.М.* Природные условия формирования и химический состав воды водораздельных низинных болот Васюганья (Томская область) // Болота и биосфера. Мат-лы II научн. школы. Томск: Изд-во ТГПУ, 2003. С. 62–64.
 11. *Савичев О.Г.* Химический состав болотных вод на территории Томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями // Изв. Томского политехн. ун-та. 2009. Т. 314. № 1. С. 72–77.
 12. *Савичев О.Г., Камнева О.А.* Химический состав подземных и болотных вод таежной зоны Западной Сибири в естественном и нарушенном состоянии // Вестн. науки Сибири. 2011. № 1. С. 23–29.
 13. Moorkunde. Herausgegeben von M. Succow und H. Joosten. E. Schweizerbart, sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart. 2001. 622 p.

Сведения об авторе:

Калюжный Игорь Леонидович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом гидрофизики, ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (ГГИ), Россия, 199053, Санкт-Петербург, В. О., 2-я линия, 23; e-mail: hfl@mail.ru