

## Общие черты формирования гидрохимического режима основных типов болот России

И. Л. Калюжный\*

*Установлено, что химический состав вод всех типов болот России формируется под влиянием гидрометеорологического режима. В зимний период растущие кристаллы льда вытесняют в поровое пространство солевой раствор, увеличивая общую минерализацию болотных вод. Удельный прирост минерализации (в зависимости от типа болота) изменяется в пределах от 0,6—0,8 до 25 мг/дм<sup>3</sup> на 1 см промерзшего слоя. В период снеготаяния талые воды уменьшают общую минерализацию вод в 1,5—7,4 раза, приближая к уровню минерализации атмосферных осадков. В вегетационный период минерализация формируется под влиянием поглощения ионов растительностью и увеличения их содержания при распаде органики и испарения. Наибольшая пространственная изменчивость минерализации наблюдается в период наибольшей глубины промерзания (коэффициент вариации 0,48). При снеготаянии и в вегетационный период она уменьшается, и осенние осадки уменьшают ее до 0,07—0,08.*

**Ключевые слова:** болотные воды, гидрохимический и гидрометеорологический режимы, типы болот.

### Введение

Водно-минеральное питание болот является главным фактором, определяющим развитие болотной растительности и динамику болотной системы, а также интенсивность биохимических процессов в деятельном слое торфяной залежи. Определенное влияние на процессы формирования химического состава оказывает и гидрометеорологический режим болотного массива. В совокупности все эти процессы формируют химический состав и качество болотных вод. В настоящее время детально изучен химический состав вод олиготрофных и мезотрофных болот [2, 6], но влияние на процесс его формирования факторов гидрометеорологического режима является мало изученной областью гидрологии и гидрохимии. Между тем хозяйственное освоение всех типов болот на территории европейской и азиатской частей России требует информации о влиянии гидрометеорологических факторов на формирование гидрохимического режима и химического состава их вод. Для постановки и проведения такого рода исследований необходимы круглогодичные наблюдения за элементами гидрометеорологического режима и динамикой химического состава болотных вод. Комплексный анализ полученных результатов при таком решении поставленных вопросов является целью настоящей работы.

\* Государственный гидрологический институт; e-mail: hfl@mail.ru.

## Методика исследований

Исходной информацией для анализа динамики химического состава болотных вод и гидрометеорологического режима конкретных болотных массивов являются результаты наблюдений специализированной сети болотных станций Росгидромета. За период с 1970 по 2016 г. на специализированных болотных станциях использовали единую программу комплексных гидрометеорологических наблюдений и наблюдений за химическим составом болотных вод [7].

Отбор проб воды производили из разовой стандартной выемки размером  $20 \times 20$  см в плане и на глубине 10 см ниже уровня болотных вод. Далее пробы воды поступали в лаборатории территориальных УГМС, где с применением стандартных методов определялись основные компоненты химического состава болотных вод: главнейшие ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , а также фосфаты, кремний, железо, водородный показатель, перманганатная и бихроматная окисляемость. Общая минерализация определялась как сумма главнейших ионов и биогенных компонентов ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ).

Принятая методика позволяет рассматривать динамику химического состава болотных вод в неразрывной связи с факторами гидрометеорологического режима болот.

**Местоположение исследованных болот.** При выполнении настоящей работы в основном были использованы результаты наблюдений специализированной сети станций Росгидромета, расположенных на болотных массивах основных болотных провинций:

— Западносибирской провинции южной тайги, березовых лесов и евтрофных и мезотрофных болот с участием олиготрофных сосново-сфагновых, на болотах Тарманское и Баксинское;

— Даурско-Амурской провинции преимущественно горных лиственничников, частью сфагновых и сфагновых болот, на болоте без названия (названо Листвянским) [3];

— в провинции Финско-Кольской северной тайги и лапландских аапа, на мезоолиготрофном Пулозерском болоте, описание болота приведено в [2];

— Ладожско-Ильменско-Западнодвинской провинции широколиственно-хвойных лесов и выпуклых грядово-мочажинных болот, на олиготрофном болоте Ширинское;

— провинции средней тайги и выпуклых болот юго-востока Финляндии и Карельского перешейка, на олиготрофном болоте Ламмин-Суо, на болотной станции Зеленогорская [4];

— Прибеломорской провинции олиготрофных болот северной тайги, на болотном массиве Иласский, на болотной станции Брусовица;

— Западно-Сибирской провинции северной и средней тайги, олиготрофных грядово-мочажинных болот, на болотном массиве в районе оз. Сомотлор;

— Эстоно-Литовской провинции выпуклых болот и широколиственно-хвойных лесов, на болотном массиве Тирели [6].

### Временная и пространственная изменчивость компонентов химического состава болотных вод под действием факторов гидрометеорологического режима болот

Под болотными водами, как водами местного стока, понимаются воды грунтового или атмосферного происхождения (или совместно того и другого), хи-

мический состав и концентрация компонентов которых изменились под влиянием произрастающей болотной растительности и биохимических процессов ее разложения.

Под их гидрохимическим режимом подразумевается временная изменчивость химического состава вод под воздействием факторов гидрологического и метеорологического режима болот.

Во всех типах болот гидрохимический режим имеет общие характерные черты. В поздний осенний и зимний периоды наблюдается увеличение общей минерализации, а следовательно, и компонентов химического состава, обусловленное вытеснением ионов из солевого раствора растущими кристаллами льда [2, 6]. Приращение общей минерализации зависит от ряда факторов, главным из которых является глубина промерзания, а косвенным — тип болотного массива. Так, на мезоолиготрофном болоте Пулозерское (табл. 1) за период наблюдений с 1979 по 1988 г. при средней минерализации, предшествующей промерзанию кустарничково-лишайникового микроландшафта, равной  $20 \text{ мг/дм}^3$ , ее приращение в конце зимы в среднем составило  $142,3 \text{ мг/дм}^3$  (в 7,1 раза). Средняя глубина промерзания за эти годы была  $54 \text{ см}$ , изменяясь при этом от  $43$  до  $67 \text{ см}$ . Удельный прирост минерализации в среднем составил  $2,33 \text{ мг/дм}^3$  на  $1 \text{ см}$  промерзшего слоя. В грядово-мочажинном комплексе он был несколько меньшим —  $1,75 \text{ мг/дм}^3$  на  $1 \text{ см}$ .

Для кустарничково-лишайникового микроландшафта мезоолиготрофного болота получена зависимость увеличения общей минерализации  $M_{\text{об}}$  ( $\text{мг/дм}^3$ ) от глубины промерзания болота  $h$  ( $\text{см}$ ) в виде уравнения

$$M_{\text{об}} = 19,49 e^{0,028h}$$

Ее коэффициент корреляции не превышает  $0,685$ , что свидетельствует о существовании и других факторов, воздействующих на происходящий процесс увеличения минерализации.

Зависимость значения общей минерализации от глубины промерзания хорошо проявляется на евтрофном Гарманском болоте (табл. 2). В гипново-осоковом микроландшафте среднее значение минерализации в ноябре было равно  $823 \text{ мг/дм}^3$ ; за зиму оно увеличилось на  $258 \text{ мг/дм}^3$  и в марте — апреле установилось на уровне  $1081 \text{ мг/дм}^3$  (в 1,3 раза больше). В среднем по болоту за

Таблица 1

**Увеличение общей минерализации болотных вод кустарничково-лишайникового микроландшафта при промерзании мезоолиготрофного болота Пулозерское**

Зимний период, годы	Общая минерализация, $\text{мг/дм}^3$			Глубина промерзания, $\text{см}$	Удельное увеличение минерализации, $\text{мг/дм}^3$ на $1 \text{ см}$
	исходная	приращение	в конце зимы		
1979—1980	20,0	184,8	204,8	67	2,76
1981—1982	33,5	185,8	219,3	44	4,22
1982—1983	21,9	235,6	257,5	53	4,44
1983—1984	12,7	62,2	104,9	43	2,14
1984—1985	19,6	82,4	102,0	50	1,65
1985—1986	28,0	97,8	125,8	57	1,72
1986—1987	21,0	42,4	63,4	65	0,65
1987—1988	8,3	52,6	60,9	50	1,05
Среднее	20,6	117,9	142,3	54	2,33

Таблица 2

**Средние месячные значения общей минерализации ( $мг/дм^3$ ) болотных вод при промерзании и оттаивании мерзлого слоя на евтрофном болотном массиве Тарманское**

Микроландшафт	Осенне-зимний период			После снеготаяния	
	$M_{oc}$	$\Delta M_3$	$M_{пр}$	$M_в$	$\gamma$
Осоковый кочкарник	812	197	1009	595	1,70
Гипново-осоковый	823	258	1081	574	1,88
Грядово-мочажинный	567	194	761	379	2,01
Осоково-гипновый	650	235	885	539	1,64
Среднее по болоту	713	221	934	522	1,80

*Примечание.* Здесь и в табл. 3  $M_{oc}$  — осенняя минерализация;  $\Delta M_3$  — зимнее приращение;  $M_{пр}$  — минерализация в период, предшествующий снеготаянию;  $M_в$  — весенняя минерализация;  $\gamma$  — степень разбавления.

многолетний период наблюдений зимнее приращение общей минерализации составляет  $221 мг/дм^3$  [5].

Расчеты показывают, что в осоковом кочкарнике удельный прирост минерализации равен в среднем  $25 мг/дм^3$  при увеличении промерзания на  $1 см$ , в осоково-гипновом —  $14,9 мг/дм^3$  на  $1 см$ , что существенно больше, чем на мезоолиготрофном болоте.

Зависимость общей минерализации, наблюдаемой на Тарманском болоте в период, предшествующий снеготаянию ( $M_{пр}, мг/дм^3$ ), от величины минерализации в осенний период ( $M_{oc}, мг/дм^3$ ) перед промерзанием болота выражается уравнением вида

$$M_{пр} = 0,982 M_{oc} + 304$$

при коэффициенте корреляции  $R = 0,79$ .

На евтрофном Листвянском болоте (осоково-гипновый микроландшафт) в предзимний период общая минерализация составила  $81,8 мг/дм^3$  и за зиму под влиянием промерзания увеличилась до  $148,0 мг/дм^3$ , т. е. на  $66,2 мг/дм^3$ , или на 81% первоначальной величины.

На олиготрофных болотах также наибольшая минерализация наблюдается при наибольшей глубине промерзания [6]. На болоте Тирели в сфагново-пушицево-кустарничковом микроландшафте в предзимнем периоде она была равна  $23,7 мг/дм^3$  и при глубине промерзания  $40 см$  возросла до  $58,6 мг/дм^3$  (в 2,5 раза). В среднем удельный прирост составляет  $0,6—0,8 мг/дм^3$  на  $1 см$  промерзшего слоя.

На олиготрофном болоте Иласское, в грядово-мочажинном комплексе (табл. 3), по результатам наблюдений с 1978 по 1988 г. среднее значение общей минерализации предзимнего периода составило  $17,2 мг/дм^3$ . За зимний период она увеличилась на  $16,9 мг/дм^3$  и достигла  $34,2 мг/дм^3$ , т. е. увеличилась практически на 98%.

Отсюда следует, что независимо от типа болотного массива промерзание торфяной залежи обуславливает увеличение общей минерализации, и в предпаводочный период она становится существенно больше по сравнению со значениями в позднеосенний период.

Весной под влиянием таяния слабоминерализованного снежного покрова и талых вод мерзлого слоя с существенно пониженной минерализацией происходит разбавление раствора солей, и минерализация его резко снижается. В

Таблица 3

**Суммарное содержание главных ионов в водах грядово-мочажинного комплекса в предзимний, зимний и весенний периоды на олиготрофном Иласском болоте**

Годы	Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>				γ
	$M_{oc}$	$\Delta M_z$	$M_{пр}$	$M_v$	
1978—1979	16,2	18,2	34,4	19,5	1,8
1979—1980	12,7	20,9	33,6	6,6	5,1
1980—1981	10,9	6,3	17,2	8,5	2,0
1982—1983	15,2	19,0	34,2	19,0	1,8
1983—1984	26,2	11,0	37,2	12,7	2,9
1984—1985	17,7	40,4	58,1	15,3	3,8
1986—1987	20,0	10,0	30,0	19,3	1,6
1987—1988	19,0	9,5	28,5	11,4	2,5
Среднее	17,2	16,9	34,2	14,0	2,6

среднем за многолетний период наблюдений на евтрофном Тарманском болоте она уменьшается с 992 до 647 мг/дм<sup>3</sup> (в 1,5 раза) и менее, на Ливствянском — от 297 до 40 мг/дм<sup>3</sup> (в 7,4 раза). На мезоолиготрофном Пулозерском болоте при средней многолетней минерализации атмосферных осадков, равной 10 мг/дм<sup>3</sup>, общая минерализация в мае достигает 7,2—10,0 мг/дм<sup>3</sup>, т. е. минерализация болотных вод становится близка к минерализации атмосферных осадков.

На олиготрофном Сомотлорском болоте наименьшая минерализация наблюдается в весенний период — от 10 до 15 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует минерализации осадков (5—8 мг/дм<sup>3</sup>). На этом массиве, а также на всех олиготрофных болотах талые воды стекают от центра к окраине, и концентрация ионного состава становится практически одинаковой.

В начале вегетационного периода и до наступления межени минерализация увеличивается равномерно вследствие концентрации солевого состава под влиянием испарения. Уровень болотных вод понижается, их сток уменьшается, и, как следствие, уменьшается их вынос за пределы болота. Общая минерализация на начальном этапе меженного периода относительно небольшая и зависит от степени разбавления болотных вод талыми. На олиготрофных болотах Тирели и Ламмин-Суо она равна 8—18 мг/дм<sup>3</sup>.

Далее происходит увеличение концентрации солевого раствора в основном под влиянием двух разнонаправленных процессов: поглощения минеральных компонентов произрастающей растительностью и увеличения их содержания под влиянием распада органики и испарения.

С целью оценки влияния испарения на увеличение общей минерализации были поставлены соответствующие опыты на евтрофном болотном массиве Луниноское. На двух болотных весовых испарителях ГГИ-Б-1000, установленных в осоково-гипновом микроландшафте, проводилось измерение испарения с поверхности болота от начала вегетационного сезона (30 апреля) до его окончания (5 октября) по методике, изложенной в Наставлении [7]. При этом в процессе опыта при уменьшении уровня воды в испарителе относительно уровня воды в болотном микроландшафте производился долив воды до отметки, соответствующей уровню воды в микроландшафте. При превышении уровня воды в испарителе относительно его положения в микроландшафте слив воды из испарителя не производился.

Было установлено, что в конце вегетационного сезона общая минерализация болотных вод составила  $85 \text{ мг/дм}^3$ . В пробах воды, отобранных по окончании вегетационного сезона, общая минерализация в первом испарителе составила  $159,4 \text{ мг/дм}^3$  при слое испарившейся за сезон воды  $388,4 \text{ мм}$ ; во втором — соответственно  $188,0 \text{ мг/дм}^3$  и  $418,6 \text{ мм}$ . Отсюда следует, что в среднем за конкретный вегетационный сезон  $1 \text{ мм}$  испарившейся влаги увеличивал среднюю минерализацию на  $0,22 \text{ мг/дм}^3$ .

В летний период выше уровня болотных вод отмечается зона распада органического вещества. В этой зоне по мере распада органики зольные компоненты накапливаются в поровом пространстве деятельного слоя и вымываются при подъеме уровня дождевыми водами на олиготрофных болотах, дождевыми и грунтовыми — на болотах других типов. При этом определенная часть минеральных компонентов на протяжении летнего и осеннего периодов растворяется и увеличивает общую минерализацию. В конце осеннего периода на олиготрофных болотах минерализация достигает  $35\text{—}50 \text{ мг/дм}^3$ ; на мезо-олиготрофном Пулузерском болоте — до  $140 \text{ мг/дм}^3$ . При дождевых осадках осенью может наблюдаться некоторое уменьшение концентрации ионов путем разбавления болотных вод маломинерализованными дождевыми водами.

С целью оценки пространственной изменчивости компонентов химического состава болотных вод на болоте Ламмин-Суо были произведены отборы проб воды в 16 пунктах, расположенных в основных болотных микроландшафтах, во всех фазах гидрологического режима. Результаты определения пространственной и временной изменчивости общей минерализации приведены в табл. 4. Ее анализ показывает, что наибольшая пространственная изменчивость общей минерализации  $M_{\text{пр}}$  наблюдается в период, предшествующий началу снеготаяния (22 марта), при наибольшей глубине промерзания, равной  $23 \text{ см}$ . Среднеквадратическое отклонение  $\delta(M_{\text{пр}})$  достигает  $6,13 \text{ мг/дм}^3$ , коэффициент вариации  $C_v$  равен  $0,48$ .

Таблица 4

**Временная и пространственная изменчивость общей минерализации на олиготрофном болоте Ламмин-Суо по наблюдениям в 1968 г.**

Дата	Параметр					Осадки, мм
	Среднее, мг/дм <sup>3</sup>	max, мг/дм <sup>3</sup>	min, мг/дм <sup>3</sup>	$\delta$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C_v$	
22 марта	12,7	31,9	7,6	6,13	0,48	159,0*
3 апреля	16,8	26,9	10,9	4,00	0,24	26,6
20 мая	9,3	12,9	7,5	1,38	0,15	113,2
5 июня	8,2	11,1	6,9	3,45	0,13	11,5
20 июня	11,1	15,3	7,7	2,18	0,20	18,4
23 июля	14,3	17,6	9,3	1,51	0,11	60,1
13 августа	11,1	14,2	7,1	2,42	0,22	153,7
30 сентября	8,2	9,4	7,0	0,66	0,08	166,8
13 ноября	8,9	11,9	6,5	1,88	0,15	164,9
По болоту	11,2	31,9	6,5	2,62	0,195	

*Примечание.* max и min — наибольшее и наименьшее значения;  $\delta$  — среднеквадратическое отклонение;  $C_v$  — коэффициент вариации;  $159^*$  — запас воды в снеге 22 марта при средней глубине промерзания болота, равной  $24 \text{ см}$ .

При снеготаянии слой слабоминерализованных снеговых вод (159 мм) по всей площади болота выравнивает общую минерализацию: уменьшаются ее наибольшие значения, увеличиваются наименьшие и среднее значение по болоту до  $16,8 \text{ мг/дм}^3$ , уменьшается  $\delta$  до  $4,00 \text{ мг/дм}^3$  и  $C_v$  — до 0,24. Значительное количество осадков в мае (113,2 мм) уменьшает как среднее значение общей минерализации по болоту (в мае — начале июня до  $8,2\text{—}9,3 \text{ мг/дм}^3$ ), так и  $\delta$  (до  $1,38 \text{ мг/дм}^3$ ), и соответственно  $C_v$  до 0,13—0,15.

На олиготрофном Самотлорском болоте коэффициент вариации общей минерализации в паводочный период достигает наименьших значений (не более 0,07—0,08).

Наступление межени и относительно небольшие осадки в летнюю межень на болоте Ламмин-Суо (вторая декада июня — вторая декада июля) и значительное испарение с его поверхности уменьшают  $\delta$  до  $1,51 \text{ мг/дм}^3$  и  $C_v$  до 0,11. Обильные осадки в сентябре (166,8 мм) понижают  $\delta$  до  $0,66 \text{ мг/дм}^3$  и  $C_v$  до 0,08. В этот период обильных осадков наблюдается наименьшая пространственная изменчивость общей минерализации.

Таким образом, атмосферные осадки уменьшают пространственную изменчивость общей минерализации вод всех типов болот.

Значительное влияние на динамику общей минерализации в период годового цикла оказывает изменение содержания гидрокарбонатного иона. Воды атмосферных осадков, выпадая на болото и взаимодействуя с болотными водами, могут терять гидрокарбонатный ион. В кислых водах олиготрофных болот он полностью отсутствует. По мере увеличения щелочности среды (водородный показатель возрастает) слабокислая среда изменяет свои свойства на слабощелочную. Гидрокарбонатный ион в водах болот появляется в том случае, когда водородный показатель рН становится больше 5,0—5,05. Эти изменения наиболее характерны для вод мезоолиготрофных болот, где зависимость содержания гидрокарбонатного иона  $I_{\text{HCO}}$  ( $\text{мг/дм}^3$ ) от величины рН имеет следующий вид [2]:

$$I_{\text{HCO}} = 0,58(\text{pH})^3 - 6,21(\text{pH})^2 + 20,4(\text{pH}) - 17,9$$

при  $R = 0,83$ .

Большое содержание этого иона в водах мезотрофных и евтрофных болот значительно влияет на их общую минерализацию, зависимость  $M$  ( $\text{мг/дм}^3$ ) для мезоолиготрофных болот Кольского п-ова определяется выражением

$$M = 1,64I_{\text{HCO}} + 32,6$$

при  $R = 0,56$ .

Главной особенностью вод евтрофных болот, в частности Тарманского болотного массива, является их резко выраженный гидрокарбонатно-кальциевый характер. Гидрокарбонатный ион преобладает, его содержание в водах Тарманского болота составляет 65% суммы ионов. Соотношение ионов в болотных водах стремится к пределу, определяемому отношением общей минерализации к содержанию  $\text{HCO}_3^-$  для чистого раствора  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Гидрокарбонатный коэффициент для чистого раствора равен 1,33 [1], и он незначительно отличается от аналогичных коэффициентов в уравнениях этой связи для вод осоково-гипнового и грядово-мочажинного комплексов этого массива. Их уравнение связи можно представить соответственно в виде

$$\begin{aligned} M_{\text{ог}} &= 1,34 I_{\text{HCO}} + 75; \\ M_{\text{гм}} &= 1,36 I_{\text{HCO}} + 35. \end{aligned}$$

Коэффициенты корреляции этих зависимостей не меньше 0,993.

Для евтрофного Листвянского болота зависимость описывается уравнением вида

$$M_{ог} = 1,388 I_{нсо} + 7,12$$

при  $R = 0,993$ .

На олиготрофных болотах гидрокарбонатный ион наблюдается при значительных атмосферных осадках или при интенсивном снеготаянии и только на окраинах болотных массивов. Этому также способствует поверхностный или грунтовый сток со стороны окружающих суходолов.

На северных болотных массивах значительно увеличивается содержание ионов хлора. Так, сравнение содержания ионов хлора в атмосферных осадках и в водах болот Кольского п-ова показывает, что в последних его в два раза больше, но несколько меньше, чем в грунтовых водах. Это свидетельствует о том, что источником хлора могут быть осадки, особенно при их переносе воздушной массой со стороны северных морей или при подпитке болота грунтовыми водами. Ион хлора ( $I_{Cl}$ ) существенно влияет на общую минерализацию болотных вод. Зависимость определяется выражением

$$M = 1,93I_{Cl} + 11,5$$

при  $R = 0,87$ .

Содержание органического вещества в болотных водах оценивалось по значениям бихроматной окисляемости. Использование сернокислого раствора бихромата калия позволяет практически полностью окислить органику.

Изменение содержания органики в водах болот происходит практически синхронно с изменением их ионного состава. Оно характеризуется минимальным содержанием весной и в летнюю межень, наибольшим — в холодный период года вне зависимости от типа болотного массива. Весеннее уменьшение концентрации органического вещества обусловлено разбавлением высокогумифицированных болотных вод талыми водами.

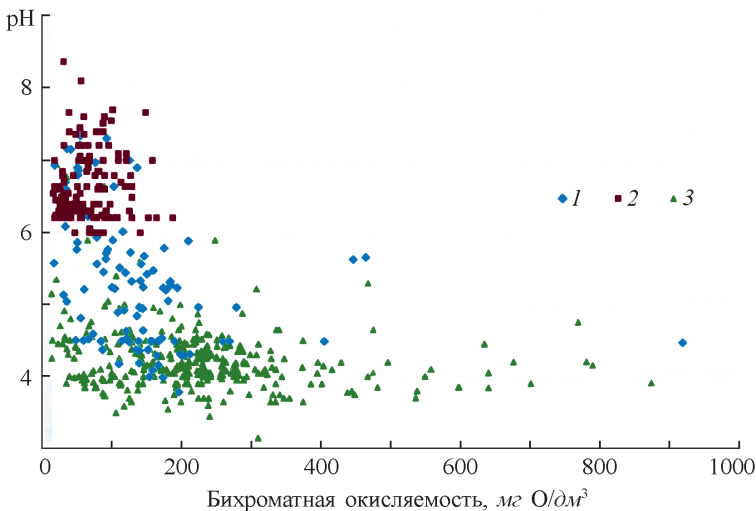
Наибольшее содержание органического вещества наблюдается в водах олиготрофных болот (табл. 5). Среднее его значение практически в 3—5 раз больше, чем в водах евтрофных болот. Наибольшее его значение в олиготрофных болотах достигает более  $1000 \text{ мг О/дм}^3$  в диапазоне рН от 3,5 до 5,05. В мезоолиготрофных и евтрофных болотах при рН от 5,05 до 8,20 бихроматная окисляемость практически не превосходит  $200 \text{ мг О/дм}^3$  и несколько уменьшается с увеличением водородного показателя. Наименьшее содержание органического вещества наблюдается в водах евтрофных болот с осоково-тростниковыми и

Таблица 5

Характеристики бихроматной окисляемости вод основных типов болот

Характеристика	Параметр	Тип болотного массива			
		Евтрофные		Мезоолиготрофное	Олиготрофное
		Листвянское	Тарманское	Пулозерское	Иласское
Бихроматная окисляемость, $\text{мг О/дм}^3$	Среднее	45,4	84,1	135,3	232,4
	max	186,7	188,8	919,0	872,9
	min	14,5	21,4	17,3	13,3
Водородный показатель рН	Среднее	6,36	6,9	5,30	4,28
	max	7,2	8,6	7,34	6,95
	min	6,0	6,0	3,80	3,15





Зависимость степени кислотности болотных вод мезоолиготрофных (1), евтрофных (2) и олиготрофных (3) болот от их бихроматной окисляемости.

вейниковыми ассоциациями (Лившанское болото). В кислой среде олиготрофных болот содержание органического вещества существенно больше, чем в слабощелочной среде других типов болот.

Зависимость между содержанием органического вещества в водах основных типов болот, показателем которого является бихроматная окисляемость, и степенью их кислотности, приведена на рисунке. Приблизительно она описывается уравнением вида

$$pH = 8,296 Q_{\text{бих}}^{-0,119},$$

где  $Q_{\text{бих}}$  — бихроматная окисляемость,  $мг\ O/дм^3$ .

Коэффициент корреляции этой зависимости равен 0,444, что подтверждает относительно слабую зависимость степени кислотности среды от содержания органического вещества в водах всех типов болот.

### Выводы

Установлено, что во всех типах болот России (олиготрофных, евтрофных и мезоолиготрофных) гидрохимический режим имеет общие характерные черты. В позднесенний и зимний периоды при промерзании деятельного слоя болот происходит увеличение общей минерализации болотных вод, обусловленное вытеснением ионов из солевого раствора растущими кристаллами льда.

На олиготрофных болотах в предпагодочный период общая минерализация увеличивается в 2,5 раза по сравнению с ее значениями в период, предшествующий промерзанию. Удельный прирост минерализации составляет 0,6—0,8  $мг/дм^3$  на 1 см промерзшего слоя. На мезоолиготрофных болотах она увеличивается в 7,1 раза при приросте 2,33  $мг/дм^3$  на 1 см промерзания. На евтрофных болотах минерализация возрастает в 1,3—1,8 раза при приросте 14,9—25,0  $мг/дм^3$  на 1 см промерзшего слоя. Наибольшей за зимний период глутбине промерзания соответствует и наибольшее значение общей минерализации.

Весной слабоминерализованные талые снеговые воды путем разбавления уменьшают общую минерализацию: на евтрофном Тарманском болоте — в

1,5 раза, на Ливинском — в 7,4 раза. На олиготрофных и мезоолиготрофных болотах общая минерализация уменьшается до уровня минерализации талых вод и атмосферных осадков.

В вегетационный период формирование общей минерализации происходит под влиянием процессов поглощения минеральных компонентов произрастающей растительностью и увеличения их содержания при распаде органики и в процессе испарения. На евтрофном болоте 1 мм испарившейся влаги увеличивает общую минерализацию на  $0,22 \text{ мг/дм}^3$ .

На олиготрофных болотах наибольшая пространственная изменчивость общей минерализации (коэффициент вариации 0,48) наблюдается при наибольшей глубине промерзания. Снеготаяние и весенние осадки уменьшают пространственную изменчивость до значений коэффициентов вариации 0,13—0,24. Обильные осенние осадки уменьшают коэффициент вариации минерализации до 0,07—0,08. Выпадение атмосферных осадков уменьшает пространственную изменчивость общей минерализации на всех типах болот.

Установлено, что гидрокарбонатный ион в водах всех типов болот наблюдается в том случае, когда водородный показатель становится более 5,0—5,05. При pH более 6,9—7,0 его содержание на евтрофных болотах может превышать  $1000 \text{ мг/дм}^3$ .

Наибольшее содержание органического вещества наблюдается в водах олиготрофных болот, где его бихроматная окисляемость достигает  $1000 \text{ мг O/дм}^3$ . В водах евтрофных и мезоолиготрофных болот эта величина не превосходит  $200 \text{ мг O/дм}^3$ .

Изменение содержания органического вещества в водах всех типов болот происходит синхронно с изменением их ионного состава.

## Литература

- 1. Воронков П. П.** Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР. — Л., Гидрометеиздат, 1955, 352 с.
- 2. Калюжный И. Л.** Гидрохимический режим и химический состав мезоолиготрофных болотных массивов Кольского полуострова. — Вестник КНЦ РАН, 2016, № 3, с. 114—125.
- 3. Калюжный И. Л.** Общие черты формирования гидрохимического режима и химического состава вод евтрофных болотных массивов. — Водное хозяйство России, 2016, № 3, с. 30—46.
- 4. Калюжный И. Л., Лавров С. А., Решетников А. И., Парамонова Н. Н., Привалов В. И.** Эмиссия метана на олиготрофном болотном массиве северо-запада России. — Метеорология и гидрология, 2009, № 1, с. 53—67.
- 5. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Я.** Гидрохимический режим поверхностных вод Тарманского болотного массива. — Труды ГГИ, 1977, вып. 236, с. 85—95.
- 6. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Я.** Особенности формирования гидрохимического режима, химического состава и качества вод верховых болотных массивов некоторых болотных провинций СССР. /В сб.: Труды VI Всесоюзного гидрологического съезда. — Л., Гидрометеиздат, 1976, т. 9, с. 292—304.
- 7. Наставление** гидрологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. — Л., Гидрометеиздат, 1972, 296 с.