

*Т. М. Потапова, С. М. Новиков*

## **ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БОЛОТНЫХ ВОД И СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С ТЕРРИТОРИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И МЕЛИОРИРОВАННЫХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ**

Болотные системы – уникальные природные образования, выполняющие такие важные для биосферы экологические функции, как регулирование теплового баланса, гидрологического режима, геохимических процессов, сохранение видового разнообразия и др. Кроме того, на болотах аккумулируется и депонируется органический грунт – торф, накапливающийся в результате неполного разложения растительных остатков, который является ценнейшим источником сырьевых ресурсов Земли. В процессе развития болота торф постепенно заполняет первоначальную впадину (очаг заболачивания) и массив, приобретая выпуклую форму, переходит на атмосферное питание. В этих условиях при отсутствии стока с прилегающих территорий болота в настоящее время относятся к наиболее чистым природным водным объектам, антропогенное загрязнение которых практически полностью зависит от загрязнения атмосферы. Проведенные нами исследования верховых болот показали, что многолетнее изучение химического состава болотных вод позволяет выявить аэротехногенные изменения среды как на локальном, так и на региональном уровне. Происходящие на болотах специфические биохимические процессы, связанные с торфообразованием, приводят к формированию гидрохимического режима верховых болот, значительно отличающегося от гидрохимического режима суходольных территорий. В связи с этим приоритетное значение приобретает задача получения фоновых гидрохимических характеристик верховых болот, а также количественной оценки выноса химических веществ с болот на прилегающие суходольные территории.

Начальные представления о гидрохимии болот, заложенные советскими исследователями С. Н. Тюремновым [1], П. П. Воронковым [2], получили дальнейшее развитие в работах ученых Калининского политехнического института [3] и Государственного гидрологического института [4, 5]. Анализ современной литературы свидетельствует о малочисленности работ, основанных на систематических наблюдениях за химическим составом болотных вод, особенно за гидрохимическим режимом болот, что обусловлено трудностями, связанными как с организацией проведения на них режимных наблюдений, так и с отсутствием достаточно надежных методик химического анализа болотных вод малой минерализации и высокой цветности [6]. В течение длительного периода времени систематические исследования, позволяющие оценить гидрохимический режим болот, проводились лишь на специализированных гидрометеорологических станциях Госкомгидромета, обобщение материалов наблюдений которых положено в основу данной статьи. Фоновые характеристики химического состава болотных вод рассчитывались по данным станций, расположенных на территории Севера и Северо-Запада России – в Архангельской (Иласское болото), Мурманской (Пулозерское болото) и Ленинградской (Ширинский и Ларьянский болотные массивы) областях, за период наблюдений с 1960 по 1987 г.

С целью упорядочения и унификации гидрохимических исследований болот на сети специализированных болотных станций нами в течение ряда лет проводилось усовершенствование способов и аппаратуры полевых отборов проб болотных вод и обоснование сроков

Таблица 1. Фоновые гидрохимические показатели верховых и переходных болот по результатам многолетних наблюдений Гидрометслужбы и литературным данным

Характеристика	Болото				
	Иласское	Ширинское	Пулозеро	Самотлор*	Сибирские Увалы**
Местоположение болота	Архангельская обл.	Ленинградская обл.	Мурманская обл.	Тюменская обл.	Ханты-Мансийский автономный округ
Тип болота	Верховое	Верховое	Переходное	Верховое	Верховое
Период наблюдений	1960–1986 гг.	1980–1986 гг.	1980–1986 гг.	1968 г.	1998 г.
Число наблюдений	110	100	98	25	Не опр.
pH	$\frac{4,1}{0,10}$	$\frac{4,3}{0,11}$	$\frac{4,7}{0,06}$	$\frac{4,0}{\text{Не опр.}}$	$\frac{4,7}{\text{Не опр.}}$
Цветность, град.	$\frac{501}{0,35}$	$\frac{260}{0,47}$	$\frac{258}{0,32}$	Не опр.	Не опр.
Кальций, мг/л	$\frac{2,6}{0,45}$	$\frac{1,5}{0,35}$	$\frac{6,3}{0,52}$	$\frac{1,6}{\text{Не опр.}}$	$\frac{0,8}{\text{Не опр.}}$
Хлориды, мг/л	$\frac{5,1}{0,56}$	$\frac{3,0}{0,40}$	$\frac{24}{0,42}$	$\frac{2,7}{\text{Не опр.}}$	$\frac{2,5}{\text{Не опр.}}$
Сульфаты, мг/л	$\frac{8,2}{0,11}$	$\frac{5,0}{0,52}$	$\frac{6,0}{0,30}$	$\frac{1,6}{\text{Не опр.}}$	$\frac{2,6}{\text{Не опр.}}$
Минерализация, мг/л	$\frac{21}{0,40}$	$\frac{15}{0,59}$	$\frac{50}{0,42}$	$\frac{17}{\text{Не опр.}}$	$\frac{11}{\text{Не опр.}}$
Азот аммонийный, мг/л	$\frac{0,31}{0,82}$	$\frac{0,70}{0,90}$	$\frac{0,75}{1,05}$	Не опр.	Не опр.
Железо общее, мг/л	$\frac{1,0}{0,75}$	$\frac{0,89}{0,79}$	$\frac{3,6}{0,89}$	$\frac{0,23}{\text{Не опр.}}$	Не опр.
Фосфор минеральный, мг/л	$\frac{0,03}{0,97}$	$\frac{0,01}{1,20}$	$\frac{0,21}{1,10}$	$\frac{0,30}{\text{Не опр.}}$	Не опр.

Примечание. В числителе приводятся среднегоголетние концентрации компонентов, в знаменателе – коэффициенты вариации средних значений; \* – по данным [4], \*\* – по данным [11].

и пунктов опробования для мелиорированных и немелиорированных верховых болот [7]. Важной составной частью методической работы, проведенной авторами по контролю точности данных химического анализа болотных вод, явилась разработка и внедрение унифицированных методов химического анализа болотных вод высокой цветности в виде утвержденных в Гидрохимическом институте и рекомендованных для использования на сети Гидрометслужбы «Методических указаний» [8]. Усовершенствование системы отбора и химического анализа болотных вод, а также привлечение материалов специальных гидрохимических наблюдений, проводившихся на территории отдельных верховых болот Ленинградской обл. [9, 10], позволили уточнить и значительно повысить репрезентативность имеющихся данных, которые были положены в основу разработки фоновых гидрохимических показателей верховых и переходных болот Северо-Запада.

Рассчитанные на основе методов параметрической статистики среднемноголетние значения основных компонентов химического состава вод болотных массивов Ленинградской, Мурманской и Архангельской областей могут рассматриваться в качестве фоновых гидрохимических показателей для верховых и переходных типа «аапа» болот, широко распространенных на территории Севера и Северо-Запада России. Из данных табл. 1 следует, что для гидрохимического фона верховых болот характерны малая (до 20 мг/л) величина общей минерализации ( $\Sigma$ ), кислая и слабокислая реакции среды, высокое содержание органического углерода, определяющегося значительной цветностью и бихроматной окисляемостью (ХПК до 260 мг О/л) и повышенными по сравнению с речным фоном концентрациями кремния, железа и аммонийного азота. Для переходных болот типа «аапа» установлены более высокие фоновые показатели минеральных ( $\Sigma \approx 50$  мг/л) и биогенных (минерального фосфора – до 0,20 мг/л) элементов. Это, очевидно, объясняется морфологическими особенностями таких болот, представляющих массивы с вогнутой поверхностью, располагающихся в межхолмистых впадинах, что создает определенные условия для накопления питательных веществ в торфяно-болотных водах, вызывающих появление мезотрофной растительности в центре ложбин.

Обращает на себя внимание факт пространственно-временной устойчивости фоновых гидрохимических показателей для болот олиготрофного типа, о чем свидетельствует близость химического состава вод болот, территориально удаленных друг от друга: воды грядово-мочажинных комплексов верховых болот Сургутского Полесья и Сибирских Увалов в разные временные периоды (60-е и 90-е годы XX в.) имеют близкие пределы изменения основных компонентов минерального состава (минерализации, главных ионов), что и воды верховых болот Северо-Запада (см. табл. 1). Ультрамалые фоновые содержания (на уровне единиц миллиграммов) главных ионов в болотных водах исследуемых массивов варьируют в пределах, близких к фоновым концентрациям этих компонентов в снеговых и дождевых осадках, что подтверждает атмосферный характер их питания (табл. 2). Тем не менее необходимо отметить, что химический состав болотных вод и атмосферных осадков имеет

Таблица 2. Основные гидрохимические показатели болотных вод и атмосферных осадков Ширинского болотного массива за период наблюдений 1983–1986 гг.

Компонент	Болотные воды			Атмосферные осадки		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
рН	4,2	3,8	4,6	5,2	4,9	5,9
Цветность, град.	190	60	320	5	0	30
ХПК, мг О/л	98	50	160	–	–	–
Минерализация, мг/л	15	13	18	6,8	3,8	16
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	3	1,6	4,2	0,7	0	5,2
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	1,3	0	1,9	0,1	0	0,2
K <sup>+</sup> , мг/л	1	0,6	6,5	0,3	0	0,7
Na <sup>+</sup> , мг/л	1,4	0,5	2,2	1,6	0,6	2,4
Cl <sup>-</sup> , мг/л	2,7	3,5	7,0	1,0	2,5	2,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	4,8	1,5	9,8	4,4	0	8,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0	0	0	0	0	0
Азот нитратный, мг/л	0,03	0	0,15	0,07	0	1,6
Азот аммонийный, мг/л	1,3	0,36	1,9	0,11	0	0,7
Фосфор минеральный, мг/л	0,006	0	0,10	0,05	0	0,18
Железо общее, мг/л	0,52	0,20	0,75	0,05	0,02	0,30
Классификация воды	S <sub>IV</sub> <sup>Ca</sup>			S <sub>IV</sub> <sup>Na</sup>		

Таблица 3. Статистическая характеристика временной динамики химического состава болотных вод Иласского болотного массива

Компонент	Грядово-мочажинный комплекс				Среднее квадратичное отклонение	Число проб	Среднее квадратичное отклонение	Критерий Стьюдента, $2\alpha = 0,95$	
	1977-1981 гг.		1982-1986 гг.					$t_{расч}$	$t_{табл}$
	Среднее	Число проб	Среднее	Число проб					
pH	3,96	24	4,11	57	0,48	57	0,45	1,41	1,98
Цветность, град.	450	54	551	57	207	57	253	2,28	1,98
Общая минерализация, мг/л	17,4	54	23,8	57	6,26	57	7,85	3,55	1,98
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	2,7	53	3,3	51	1,40	51	1,65	1,98	1,98
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	0,8	52	1,6	51	0,60	51	0,83	2,76	1,98
K <sup>+</sup> , мг/л	1,4	40	1,1	56	0,95	56	0,73	1,76	1,98
Na <sup>+</sup> , мг/л	3,4	40	3,8	56	1,56	56	1,37	1,33	1,98
Cl <sup>-</sup> , мг/л	4,4	55	5,9	55	2,73	55	3,48	2,64	1,98
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	5,9	55	10,4	57	3,66	57	4,78	5,63	1,98
Азот нитратный, мг/л	0,15	48	0,09	31	0,08	31	0,09	3,00	2,00
Фосфор минеральный, мг/л	0,092	43	0,042	24	0,44	24	0,046	0,74	2,00
Железо общее, мг/л	1,0	55	1,0	55	1,2	55	1,0	-	-

целый ряд принципиальных различий. Так, болотные воды, содержащие органические кислоты природного происхождения, в отличие от атмосферных осадков обладают высокой цветностью и значительно более кислой реакцией среды ( $pH = 4,0-5,3$ ), что усиливает в них миграцию ряда микроэлементов (железа, меди, цинка), обладающих повышенной способностью к комплексообразованию с лигандами органических кислот природного происхождения. В отличие от хорошо аэрированных речных вод и атмосферных осадков специфика гидрохимического облика верховых болот определяется прежде всего анаэробными условиями болотной среды, приводящими к созданию восстановительной обстановки, которая регламентирует формы нахождения и миграционную способность макро- и микрокомпонентов болотных вод. Низкое содержание растворенного кислорода (на уровне 20–40% насыщения) обуславливает преобладание восстановленных форм минеральных (двухвалентное железо) и биогенных (аммонийный азот) элементов. Сопоставив средние содержания ряда химических компонентов в болотных водах Ширинаского массива и атмосферных осадках, отобранных на территории болота, получаем: содержание общего железа и аммонийного азота в 10 раз выше по сравнению с атмосферными осадками, тогда как количество окисленных форм азота (нитритов) и фосфора (фосфатов), наоборот, на порядок выше в дождевых и снеговых осадках, что обусловлено окислительными условиями, создающимися в хорошо аэрированных атмосферных выпадениях. Сравнение концентраций биогенных элементов в атмосферных осадках и болотных водах различных микроландшафтов ряда исследованных верховых болот показывает, что диапазоны содержаний окисленных форм азота (нитритный азот) и фосфора (фосфор фосфатный), регистрируемые в болотных водах грядово-мочажинных топей выклинивания и грядово-озерковых комплексов, наиболее близки к диапазонам изменения концентраций этих элементов в атмосферных осадках [12]. По нашему мнению, это обусловлено протеканием более активных биохимических процессов вследствие лучшей аэрации и создания окислительных условий на участках верховых болот с открытой водной поверхностью, что указывает на индикационную способность вод грядово-мочажинных комплексов и внутриболотных озер в отношении загрязнения атмосферы, которая может быть использована при региональной оценке степени аэротехногенных изменений среды. Убедительным подтверждением данного предположения является статистическая оценка временной динамики содержаний основных компонентов химического состава вод грядово-мочажинного комплекса Иласского болотного массива за десятилетний период наблюдений (табл. 3). Разделение исследуемого периода наблюдений (1977–1986 гг.) на два временных интервала позволило выявить статистически значимое (расчетный  $t$ -критерий Стьюдента превышает табличное значение) увеличение минерализации на фоне возрастания содержаний катионов кальция и анионов сульфатов в болотных водах за период 1982–1986 гг. по сравнению с 1977–1981 гг. (табл. 3).

Интересно отметить, что установленная тенденция нарастания фоновых содержаний сульфатов в болотных водах, очевидно, связанная с увеличением количества сернистого газа в воздухе, наиболее отчетливо проявляется при оценке временной динамики химического состава вод болот, расположенных вблизи крупных промышленных районов. К ним относятся Иласский болотный массив, находящийся в зоне влияния Соломбальского целлюлозно-бумажного комбината и других крупных промышленных предприятий г. Архангельска, а также Ширинаский болотный массив Ленинградской обл., удаленный на расстояние 60 км от крупнейшего в стране Киришского нефтеперерабатывающего завода. Нами было установлено, что увеличение фоновых содержаний сульфатов в болотных водах происходит на фоне закисления атмосферных осадков, выпадающих на территории Ширинаского болотного массива. Специально проведенное исследование по отбору и химическому анализу проб снеговых осадков с поверхности болота выявило закисление снеговых осадков до средних значений  $pH = 5,2$  (см. табл. 2), что является прямым подтверждением сильного

техногенного загрязнения воздуха окислами серы и азота, ставшего с 1980–1985 гг. хроническим на территории ряда промышленных районов (Киришский, Кингисеппский) Ленинградской обл.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что оценка временной динамики основных показателей химического состава вод олиготрофных болот несет информацию не только об антропогенных изменениях качества воды на самом болоте, но и отражает общие тенденции загрязнения атмосферного воздуха и дает возможность проводить экологическое зонирование территории.

Сопоставление многолетних данных по гидрометеорологическому и гидрохимическому режимам верховых болот позволило выявить некоторые особенности сезонной и пространственной изменчивости химического состава болотных вод, подробно описанные в работе [12]. Как показала проведенная нами статистическая обработка больших массивов исходных данных гидрохимических и гидрометеорологических (уровни болотных вод, количество осадков, глубина промерзания торфяной залежи) показателей, пространственная изменчивость химического состава болотных вод внутри отдельных болотных массивов имеет сложный и неоднозначный характер и определяется целым рядом факторов, важнейшими из которых являются: местоположение (уклон поверхности) и степень обводненности (уровень болотных вод) микроландшафтов, водообмен с подстилающими грунтами и степень разложения (зольность) торфяного субстрата. Оценка выборок на основе расчета *t*-критерия Стьюдента показала, что статистически значимые различия минерализации воды проявляются только между микроландшафтами разных групп трофности: олиготрофными (грядово-мочажинные комплексы) и эвтрофными (хвощево-осоковая топь); внутри микроландшафтов одной группы трофности (олиготрофных) концентрационные различия минерализации и биогенных элементов оказываются статистически незначимыми, так как могут меняться как в течение одного года, так и из года в год (табл. 4). В водах эвтрофных микроландшафтов, формирующихся на верховых болотах, как правило, под влиянием суходолов, по сравнению с олиготрофными активизируются окислительные процессы: содержание аммонийного азота в водах хвощево-осоковой топи снижается (до 0,30 мг/л), а концентрации окисленных форм – нитритного азота и минерального фосфора, наоборот, увеличиваются (до 0,22 мг/л) на фоне роста рН (до 5,3) и общей минерализации воды (до 17 мг/л) (табл. 4). Специфические особенности имеет и гидрохимический облик внутриболотных рек и ручьев по сравнению с водами болотных микроландшафтов. Анализ полученных данных свидетельствует о совпадении пределов изменения величин рН, общей минерализации и главных ионов в водах болотных микроландшафтов и внутриболотных рек. Тем не менее благодаря процессам аэрации и разбавления в водах внутриболотных рек, по сравнению с водами болотных микроландшафтов, наблюдается значительное уменьшение цветности, окисляемости, содержания аммонийного и нитритного азота и общего железа, что чрезвычайно важно учитывать при расчетах выноса растворенных химических веществ с территории верховых болотных массивов. Количественная оценка выноса химических веществ болотным стоком является одной из основных характеристик, используемых при разработке водоохранных мероприятий. Наибольшее внимание в литературе уделяется расчетам стока химических веществ с осушенных и используемых под сельскохозяйственные угодья болот [13–15]. При этом вопросы выноса веществ с естественных, нетронутых мелиорацией болот остаются наименее изученными [5]. В связи с этим была поставлена задача репрезентативной оценки выноса растворенных веществ через русловую сеть как с естественных, так и с мелиорированных болот на основе многолетних наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим режимами. В качестве примера в табл. 5 приведены наиболее репрезентативные данные по выносу минеральных и биогенных веществ с территории неосушенного и мелиорированного болотных массивов Северо-Запада. Согласно им, внутригодовые и многолетние показа-

Таблица 4. Фоновые гидрохимические показатели вод болотных микроландшафтов и болотных водотоков за многолетний период наблюдений с 1960 по 1986 г.

Компонент	Ширинский болотный массив						Иласский болотный массив			
	Грядово-мочажинный комплекс		Осоково-хвощевая топь		р. Шуицкая Дубня		Грядово-мочажинный комплекс		р. Чёрная	
	$C$	$C_v$	$C$	$C_v$	$C$	$C_v$	$C$	$C_v$	$C$	$C_v$
pH	4,10	0,09	5,25	0,13	5,20	0,12	4,07	0,13	4,54	0,14
Цветность, град.	220	0,35	260	0,50	160	0,40	501	0,47	284	0,48
XПК, мг О/л	95	0,40	110	0,52	55	0,45	262	0,39	70	0,50
Минерализация, мг/л	7	0,25	17	0,45	17	0,38	20	0,40	17	0,41
Азот аммонийный, мг/л	0,70	0,90	0,30	0,85	0,17	0,95	0,31	>1	0,15	>1
Азот нитритный, мг/л	0,01	>1	0,02	>1	0,01	>1	0,01	>1	0,003	>1
Фосфор минеральный, мг/л	0,01	>1	0,05	>1	0,06	>1	0,03	>1	0,01	>1
Железо общее, мг/л	0,40	0,50	2,4	>1	0,62	0,85	1,0	>1	0,61	0,57

Примечание.  $C$  – среднегодовая концентрация компонента,  $C_v$  – коэффициент вариации среднего значения.

Таблица 5. Диапазон изменения показателей годового (руслового) стока химических веществ с неосушенного Иласского и осушенного под торфоразработку Ларьянского болотных массивов за 1981–1985 гг.

Показатель	Иласское болото	Ларьянское болото
$M$ , л/с в 1 км <sup>2</sup>	5,6–12,5	7,6–12
Минерализация, мг/л	14–20	25–70
$P_n$ , т/км <sup>2</sup>	2,4–7,4	7,2–21,4
$C_{NO_3}$ , мг/л	0,05–0,16	0,53–0,75
$P_{NO_3}$ , кг/км <sup>2</sup>	9,6–44,8	112–170
$C_{NH_4}$ , мг/л	0,04–0,50	0,70–1,5
$P_{NH_4}$ , кг/км <sup>2</sup>	15–83	200–750
$C_{PO_4}$ , мг/л	0,002–0,04	
$P_{PO_4}$ , кг/км <sup>2</sup>	0,44–8,5	
$C_{орг}$ , мг/л	53–61	
$P_c$ , т/км <sup>2</sup>	9,3–22,5	

Примечание.  $M$  – модуль стока; гидрохимические показатели годового стока:  $P_n$  – ионного,  $P_{NO_3}$  – нитратного азота,  $P_{NH_4}$  – аммонийного азота,  $P_{PO_4}$  – минерального фосфора,  $P_c$  – органического вещества;  $C_{NO_3}$ ,  $C_{NH_4}$ ,  $C_{PO_4}$ ,  $C_{орг}$  – среднегодовые концентрации нитратного, аммонийного азота, минерального фосфора и органического вещества соответственно.

тели ионного стока ( $P_n$ ) и стока органических ( $P_c$ ) веществ определяются величиной водного стока: максимальные значения установлены для многоводных лет, минимальные – для маловодных. Четко выраженную зависимость ионного стока ( $Y_n$ ) и стока органических веществ ( $Y_c$ ) от водного режима выявляет и анализ хронологических графиков внутригодового хода гидрометрических и гидрохимических показателей Иласского болотного массива. Как видно из рис. 1 и 2, максимальным расходам воды в паводочные периоды соответствуют максимумы на кривых  $Y_n$  и  $Y_c$  и, наоборот, минимальным расходам в меженные периоды –

минимумы. При этом наибольшие значения годового ионного стока и стока органических веществ соответствуют многоводному году – 1983, наименьшие – маловодному, 1982 г.

Важно отметить, что минимальные концентрации минерализации и содержания органических веществ в водах реки, принимающей болотный сток, регистрируются в период весеннего половодья, максимальные содержания минеральных соединений – в период летней межени, а органических веществ – во время осеннего предзимья, в начале ледостава (рис. 1, 2). Сезонное распределение ионного стока для неосушенных верховых болот также определяется внутригодовым распределением водного стока: наибольшая его часть (до 70%) приходится на периоды весенних и осенних паводков, что характерно для северных рек с выраженным весенним половодьем.

С целью оценки репрезентативности полученных данных были сопоставлены рассчитанные значения показателей стока химических веществ с исследованных болот с имеющейся в литературе характеристикой выноса растворенных веществ речным стоком бассейнов Балтийского и Белого морей [16, 17]. Полученные нами показатели ионного стока с Иласского болотного массива оказались близки к приведенным в литературе величинам выноса минеральных веществ, установленных для тундровых рек Архангельской обл. (реки Кена, Кожа), для которых  $P_{и}$  варьирует в интервале от 2 до 9 т/км<sup>2</sup> в год [17]. Сток органических веществ для северных рек изменяется от 8 до 13 т/км<sup>2</sup> в год, а это значительно ниже полученных нами значений  $P_{с}$  (9–23 т/км<sup>2</sup> в год) для р. Чёрной, принимающей сток с Иласского болотного массива, что обусловлено повышенным в сравнении с фоновым содержанием органических веществ в воде данной реки.

Интенсивное осушение и хозяйственное освоение болот, как правило, сопровождаются выносом за пределы мелиорируемой системы значительно больших в сравнении с естественными болотами количеств минеральных и биогенных веществ, которые вносят определенный «вклад» в загрязнение природных вод различными веществами естественного и антропогенного происхождения. Величина потерь минеральных и биогенных веществ в процессе мелиорации болот определяется концентрацией вносимых минеральных удобрений и интенсивностью водного стока, зависящей от фазы вегетационного периода и почвенных условий. Согласно литературным данным, вынос солей с единицы площади мелиорируемых территорий варьирует в широких пределах, достигая нескольких десятков тонн в год [14].

По нашим данным, на мелиорированных под торфоразработку верховых болотах, изученных на примере Ларьянского болота, модули ионного стока значительно выше (от 7 до 20 т/год на 1 км<sup>2</sup>) по сравнению с неосушенными болотами, а модули стока биогенных веществ увеличиваются в условиях мелиорации еще более значительно, достигая в многоводные годы 500–900 кг/год на 1 км<sup>2</sup> суммарного выноса общего азота (см. табл. 5).

Необходимо отметить, что приведенная оценка выноса химических веществ с территории болот по общепринятой схеме является не совсем корректной ввиду того, что водосборы рек, дренирующих болотные массивы, обычно не имеют 100%-ную заболоченность. В связи с этим химический состав руслового стока с болот не в полной мере соответствует химическому составу самих болотных вод. Более того, следует иметь в виду, что через водотоки с болот сбрасывается меньшая часть от полного стока. Согласно представлениям К. Е. Иванова, «...болотные системы водораздельного и водораздельно-склонового залегания не менее 50% объема стока с них отдают окружающим территориям диффузным потоком, т. е. фильтрационным потоком через периферийный контур болота, и лишь не более половины всего объема стока с болот выносятся за пределы его границ через сеть, дренирующую болотные воды внутри границ болотной системы» [18, с. 78].

Таким образом, чтобы оценить влияние верхового болотного массива на гидрохимический режим окружающих его территорий, необходимо знать общий вынос химических веществ, который можно получить только при наличии данных по концентрации химических

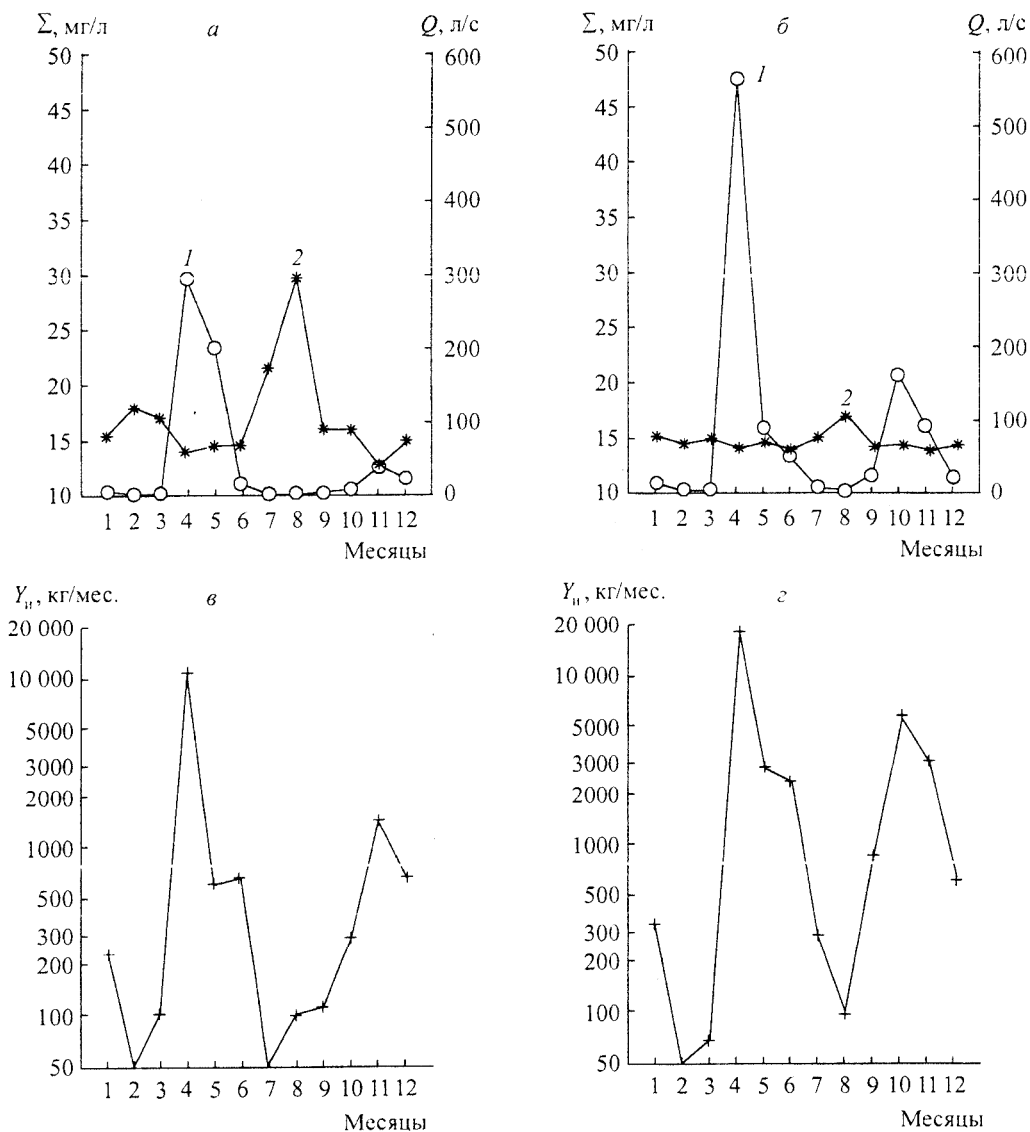


Рис. 1. Изменения среднемесячных расходов воды ( $Q$ ), общей минерализации ( $\Sigma$ ) и ионного стока ( $Y_{и}$ ) с Иласского болотного массива по водосбору р. Чёрной за маловодный (1982) и многоводный (1983) годы.

1 – расход воды; 2 – минерализация воды. а, в – 1982 г.; б, г – 1983 г.

веществ в болотных водах и о величине полного (климатического) стока, рассчитываемого как разность норм осадков и испарения. Расчет полного стока растворенных веществ с верховых болот Северо-Запада был выполнен на примере Иласского болотного массива. За основу были приняты среднееголетние концентрации химических веществ вод грядово-мочажинного комплекса, доминирующего на Иласском массиве; климатический сток определяется по разности среднееголетних значений осадков и испарения с данного болота. Результаты расчетов представлены в табл. 6, в ней же для сопоставления приведены и

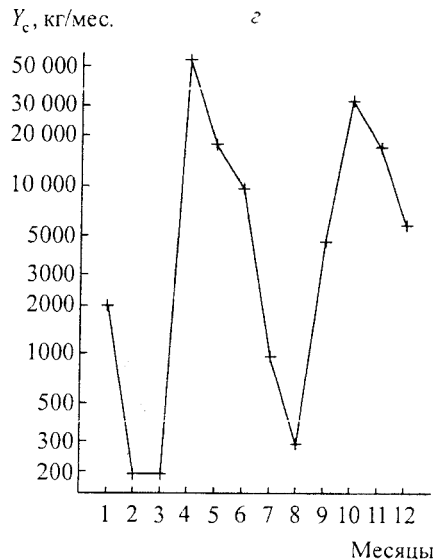
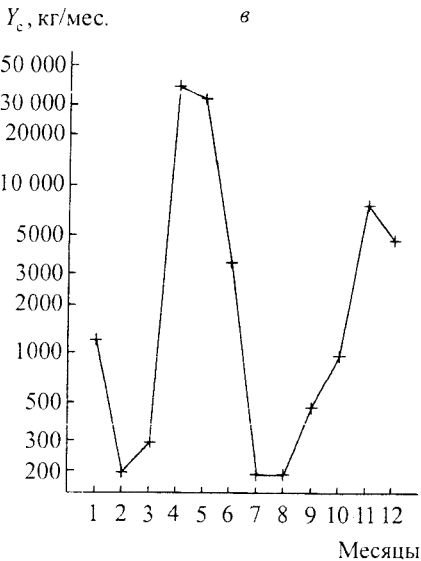
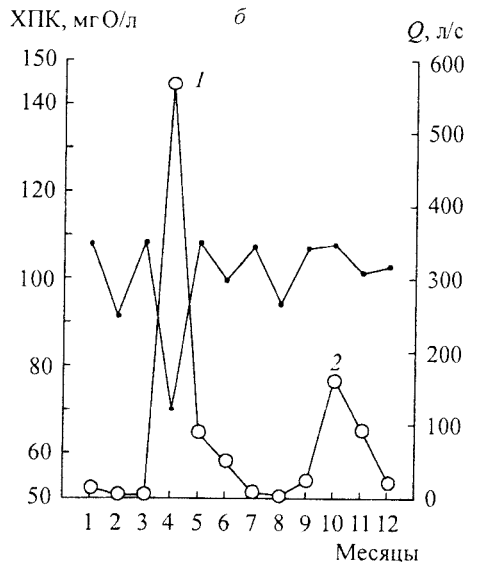
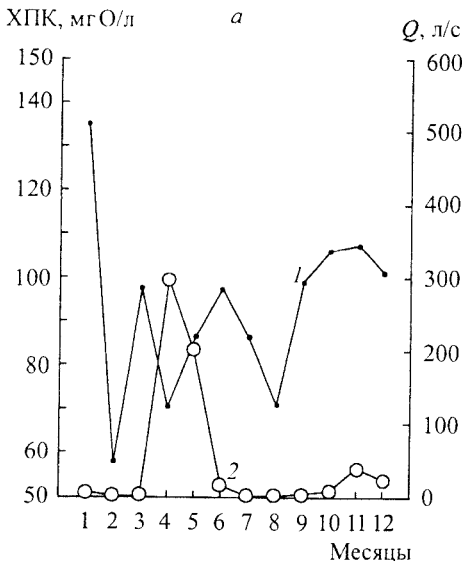


Рис. 2. Изменения среднемесячных расходов воды ( $Q$ ), содержания органического вещества (ХПК – химического потребления кислорода) и стока органических веществ ( $Y_c$ ) с Иласского болотного массива по водосбору р. Чёрной за маловодный (1982) и многоводный (1983) годы. 1 – ХПК; 2 – расход воды. Объяснение см. на рис. 1.

модули стока минеральных и органических веществ, выносимых русловым стоком. Как видно из табл. 6, диффузным потоком с территории водосбора р. Чёрной выносятся до 30% минеральных веществ и около 70% органических веществ, т. е. их бо́льшая часть.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что на основе величин среднегоголетних концентраций химических элементов в болотных водах и среднегоголетних значений климатического стока с болот можно подсчитать вынос химических веществ с любого вер-

Таблица 6. Полный и русловый сток растворенных веществ с территории водосбора р. Чёрной за многолетний период наблюдений

Компонент	$C_p$ , мг/л	Модуль годового водного стока, м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>	Модуль годового стока растворенных веществ, т/км <sup>2</sup>	$C_m$ , мг/л	Модуль годового водного стока, м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>	Модуль годового стока растворенных веществ, т/км <sup>2</sup>
		<i>Русловый сток</i>			<i>Полный сток</i>	
Минерализация	17	267 000	4,5	21	326 300	6,5
Органическое вещество	51		13,5	120		39
Железо общее	0,61		0,16	1,0		0,33
Азот аммонийный	0,15		0,04	0,31		0,11
Фосфор минеральный	0,01		0,003	0,03		0,01

Примечание.  $C_p$  и  $C_m$  – среднегодовые концентрации компонента в воде болотной реки (р) и болотного микроландшафта (м).

хового болотного массива и, следовательно, оценить влияние болот на гидрохимию окружающих их суходолов, являющуюся одним из основных экологических показателей.

### Summary

*Potapova T. M., Novikov S. M.* The estimation of water bog chemical constitution and the chemical flow from the territory of natural and ameliorative high bogs.

The background contents of the hydro chemical exponents in the high bogs displaced in the North-West regions are determined. The long term trends of the chemical exponents on the base of hydrometeorological and hydrochemical regime data are found out. It is shown that the increase of sulphurous compound concentration is caused by atmospheric precipitation pollution. The diffusion and channel drips from the territory of the natural and ameliorative high bogs are calculated.

### Литература

1. Тюремнов С. Н., Ларгин И. Ф. Изменения химического состава вод торфяных болот в зависимости от условий их залегания // Труды Гос. гидролог. ин-та. 1966. Вып. 135. 2. Воронков П. П. Основные черты формирования режима ионного состава поверхностных вод в условиях Севера // Труды Гос. гидролог. ин-та. 1951. Вып. 33. 3. Приемская С. Е., Трошичева Т. В., Мокроусова И. В. Геохимическая характеристика торфяных залежей с различными геологическими условиями залегания // Геохимия. 1984. № 5. 4. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Н. Гидрохимический режим и химический состав вод олиготрофных болотных массивов // Труды Гос. гидролог. ин-та. 1974. Вып. 222. 5. Калюжный И. Л. Оценка выноса органического вещества водами олиготрофного болотного массива // Метеорология и гидрология. 1999. № 11. 6. Потапова Т. М., Снежко А. М., Золотарев А. Б. К вопросу о гидрохимическом опробовании немелиорированных верховых болот Северо-Запада ЕТС // Сб. работ Ленингр. центра по гидрометеорологии и контролю природной среды. 1988. Вып. 4–17. 7. Потапова Т. М., Чарыков А. К. Специфические особенности химического состава болотных вод Северо-Запада // Вестн. Ленингр. ун-та. 1983. № 6. 8. Методика определения основных минеральных и биогенных компонентов в болотных водах: Метод. указания. Руководящий документ 52.08.26 – 88. Л., 1988. 9. Потапова Т. М., Иванов К. Е., Фирсанов Д. В. Гидрохимическая характеристика неосушенных верховых болот Северо-Запада ЕТС (на примере Ширинского болотного массива) // Гидрохимические материалы. 1987. Т. 98. 10. Потапова Т. М. Оценка возможности использования олиготрофных болот как индикаторов влияния атмосферного загрязнения на качество поверхностных вод // Труды Гос. гидролог. ин-та. 1988. Вып. 333. 11. Сеньков А. А. Особенности химического состава природных вод лесоболотных комплексов Сибирских Увалов, Западная Сибирь // Материалы конференции «Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования». М., 1999. 12. Потапова Т. М. Основные факторы формирования химического состава воды немелиорированных олиготрофных болот // Гидрохимические материалы. 1991. Т. 110. 13. Федотова З., Палестница Д. Научные исследования по водным проблемам. М., 1968. 14. Минаев В. А. Вынос солей из почв осушаемого болота // Почвоведение. 1967. № 10. 15. Потапова Т. М., Иванов К. Е., Золотарев А. Е. Вынос минеральных и биогенных веществ с территории мелиорированных болот Северо-Запада // Вестн. Ленингр. ун-та. 1982. № 24. 16. Алексин О. А. Сток растворенных веществ. Л., 1974. 17. Мальцева А. В., Тарасов М. Н., Смирнов М. П. Сток органических веществ с территории СССР // Гидрохимические материалы. 1987. Т. 102. 18. Иванов К. Е., Сытина И. А. Исследование изменений водного питания территорий, окружающих болотные системы, при осушительных мелиорациях без регулирования водного режима // Труды Гос. гидролог. ин-та. 1983. Вып. 303.