

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 556.565

**ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА БОЛОТ СЕВЕРА И СЕВЕРО-ЗАПАДА
РОССИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ¹**

© 2012 г. **И. Л. Калюжный, С. А. Лавров, К. Д. Романюк**

*Государственный гидрологический институт
199053 Санкт-Петербург, Васильевский остров, 2-я линия, 23*

Поступила в редакцию 02.09.2010 г.

Установлен механизм и факторы воздействия изменений климата на режим уровня болотных вод и сток с болотных массивов.

Ключевые слова: изменение климата, болота, гидрологический режим болот, механизм и факторы воздействия, сток с болот, промерзание болот, парниковые газы.

На территории России в целом, ее северной и северо-западной части, на которой отсутствует вечная мерзлота, в XX в. наблюдается рост температуры воздуха и изменение осадков. В работе [15] рассмотрено влияние климатических изменений последних десятилетий на формирование водных ресурсов в различных регионах России. Установлено, что особенность современных изменений водных ресурсов – увеличение меженного стока, особенно зимнего, практически на всей территории страны. Изменения гидрологического режима наблюдаются во всех звеньях гидрографической сети, однако механизм воздействия климатических факторов недостаточно ясен, в том числе и на болотных массивах, как на первичных элементах этой сети. Поэтому механизм и результаты воздействия изменения климата на гидрологический режим болотных массивов – вопросы актуальные и требуют детального рассмотрения.

Для оценки влияния климатических изменений на водный режим болот рассмотрены результаты многолетних наблюдений на следующих болотных массивах:

Ламмин-Суо провинции средней тайги и выпуклых болот юго-восточной Финляндии и Карельского перешейка;

Ларьянском Ладожско-Ильменско-Западнодвинской провинции широколиственных лесов и выпуклых грядово-мочажинных болот;

Иласском Прибеломорской провинции олиготрофных болот северной тайги.

На этих болотных массивах проводились многолетние гидрометеорологические наблюдения [9]. При этом метеорологические площадки располагались непосредственно на болотных массивах,

что позволяет учитывать и все особенности микроклимата болот.

Анализ многолетних наблюдений показывает, что метеорологический режим на болотных массивах в зоне олиготрофных болот изменяется в том же направлении, что и на окружающих суходолах. В качестве характерного показателя изменения метеорологического режима зимнего периода на болотных массивах принято количество оттепелей и сумма суточных положительных температур воздуха. В табл. 1 приведено количество оттепелей по каждому десятилетию за период наблюдений на болотном массиве Ламмин-Суо; в табл. 2 – величины среднесуточных положительных температур воздуха за ноябрь–март на этом болоте. Результаты наблюдений с 1950 по 2008 г. свидетельствуют о возрастании как количества оттепелей за зимний период (декабрь–февраль), так и суммы положительных температур воздуха. Если принять, что в начальный период с 1950 по 1970 г. существенных изменений не происходило, то с 1990

Таблица 1. Количество оттепелей за зимний период на болотном массиве Ламмин-Суо по данным наблюдений в 1950–2008 гг.

Годы	Количество дней со среднесуточной температурой 0°C и более			
	декабрь	январь	февраль	итого за зиму
1950–1960	50	20	16	86
1960–1970	44	24	16	84
1970–1980	72	38	22	132
1980–1990	57	51	21	129
1990–2000	59	43	53	155
2000–2008	74	59	42	175

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00632-а).

Таблица 2. Суммы среднесуточных положительных температур воздуха за ноябрь – март по данным наблюдений на болотном массиве Ламмин-Суо в 1950–2008 гг.

Годы	Среднемесячные суммы среднесуточных положительных температур воздуха, °С					Сумма за период, °С
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	
1950–1960	10.7	8.7	1.6	0.8	4.5	26.3
1960–1970	11.1	3.8	1.7	1.3	9.4	27.3
1970–1980	29.2	10.6	4.4	1.5	12.6	58.3
1980–1990	37.7	5.6	4.3	5.0	18.0	70.6
1990–2000	29.9	8.0	3.7	4.1	14.1	59.8
2000–2008	45.4	21.8	5.8	5.2	20.1	98.3

по 2008 г. наблюдается увеличение суммы суточных положительных температур воздуха в 3 раза. В зимние месяцы, в январе и феврале, – в 2.9 и 4.4, в декабре и марте – несколько меньше, в 2.4 раза. В ноябре – в 3.4 раза, что сказывается на начальном периоде формирования зимней фазы гидрометеорологического режима болота. В целом количество оттепелей за зимние месяцы декабрь–февраль увеличилось от 84÷86 до 175.

В западной части зоны олиготрофных болот, на Ларьянском болотном массиве в 1961–1980 и 1988–2007 гг. количество зимних оттепелей (ноябрь–март) за год возросло в среднем с 32 до 41. Сумма среднесуточных положительных температур воздуха за этот же период увеличилась с 58 до 85°С в год, т.е. в 1.5 раза, а в феврале – в 5.8.

В северной части зоны олиготрофных болот, на Иласском болотном массиве наблюдается менее интенсивное увеличение количества оттепелей в зимний период года. Так, количество оттепелей за зимние периоды (ноябрь–март) 1954–1974 и 1985–2005 гг. возросло от 12 до 15 сут/год.

Изменение температурного режима в сторону потепления приводит к изменению физических характеристик снежного покрова. Под воздействием оттепелей увеличивается его плотность и уменьшается высота снежного покрова. Анализ материалов наблюдений показывает, что зимние оттепели значительно уменьшают запасы воды в снежном покрове на северо-западе России. На болотном массиве Ламмин-Суо, в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте средние из наибольших запасов воды в снеге с 1950 по 1980 г. составили 181 мм, при этом максимальные и минимальные снегозапасы были соответственно равны 258 (1956 г.) и 108 мм (1973 г.). С 1985 по 2009 г. средние снегозапасы понизились до 141 мм, максимальные и минимальные – соответственно до 196 и 70 мм (2007 г.), т.е. снижение составило 22%.

На болотных массивах Иласский и Ларьянский, наоборот, наблюдается увеличение запасов воды в снежном покрове. На Ларьянском болоте

оно незначительное – 4%, 118 мм в среднем за 1950–1980 гг. против 123 мм за 1981–2008 гг., а средняя высота снежного покрова увеличилась от 53 до 57 см.

В северных районах зоны олиготрофных болот (Иласское болото) снегозапасы в грядово-мочажинном комплексе за периоды наблюдений с 1956 по 1975 и с 1986 по 2005 гг. в среднем составляли 135 и 170 мм, средние высоты при максимальных снегозапасах – соответственно 52 и 63 см. Увеличение снегозапасов достигло 21%.

Повышение среднесуточной температуры и высоты снежного покрова предопределяет уменьшение глубины промерзания торфяной залежи, а понижение температуры и уменьшение высоты снега увеличивают глубину промерзания. Изменение температурного режима приводит к изменению характеристик промерзания болотного массива – глубины промерзания и массы промерзания. Под массой промерзания подразумевается общий запас талой воды и льда в слое от поверхности болота до нижней границы промерзания. Между этими двумя характеристиками на дату наибольшей глубины промерзания существует тесная корреляционная зависимость. Эта зависимость была установлена экспериментальным путем на болотах Ламмин-Суо, Пулозерском и Эндла. С этой целью на произвольно выбранном профиле измерялась глубина промерзания через каждые 0.5 м, и через 2 м отбирались пробы для определения массы промерзания инструментальным путем [2]. В результате проведенных исследований была получена зависимость массы промерзания m , см, от глубины промерзания H , см, в виде

$$m = 0.89 H - 2.74 \quad \text{при } R = 0.99. \quad (1)$$

Главный фактор, определяющий процесс накопления влаги в мерзлом слое, – ее миграция к фронту промерзания. Мигрирующая влага заполняет свободную пористость мерзлого слоя и, замерзая, превращается в лед. Инструментальные определения глубины и массы промерзания показывают, что степень заполнения свободной пористости деятельного слоя не остается постоянной и

Таблица 3. Изменение физических свойств и запасов влаги в мерзлом слое при промерзании болотного массива Ламмин-Суо

Дата	Уровень болотных вод, см	Характеристики промерзания, см		Запас влаги в слое промерзания, мм			Пористость, %
		глубина	масса	равновесной	суммарной	мигрирующей	
Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт							
16.11.1971	-15	8.2	3.5	29.0	33.2	6.2	72.7
01.01.1972	-22	8.8	6.0	29.5	52.5	23.0	60.3
15.02.1972	-28	10.7	10.7	34.0	99.8	65.8	55.5
16.03.1972	-29	18.6	12.1	51.0	135.8	84.8	51.4
Грядово-мочажинный комплекс							
20.11.1972	-11	8.7	4.9	34.5	55.2	20.7	58.3
12.02.1972	-19	21.2	16.1	52.0	169.8	117.8	46.3
22.03.1972	-10	24.0	19.2	32.0	203.5	171.5	43.5
Сфагново-пушицево-кустарничковый микроландшафт							
24.11.1971	-2	9.4	4.6	18.5	49.4	30.9	65.3
11.01.1972	-5	10.5	6.0	46.4	62.6	16.2	40.4
23.02.1972	-10	15.9	11.4	78.0	116.5	38.5	26.7

возрастает во времени. По данным инструментальных наблюдений зависимость свободной пористости P , %, от глубины промерзания H , см, описывается уравнением

$$P = 111.32H^{-0.262} \quad \text{при } R = 0.92. \quad (2)$$

В табл. 3 приведены характеристики промерзания, изменения пористости и запасов влаги в слое промерзания на болоте Ламмин-Суо. Установлено, что в мерзлом слое происходит непрерывное нарастание запасов влаги по мере увеличения глубины промерзания. Зная расположения уровня болотных вод относительно поверхности болота и профиль равновесной влаги, определенный гаммаскопическим методом [14], можно определить влагу, которая мигрировала и накопилась в мерзлой зоне. Она равна разности между общим запасом влаги в промерзшем слое и равновесным ее содержанием. Накопленная влага консервируется и не участвует в формировании зимнего стока.

Согласно табл. 3 в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте при глубине промерзания 18 см суммарный запас влаги равен 136, в рядово-мочажинном комплексе – 204 мм. В первом и втором микроландшафте слой накопленной влаги путем миграции составляет соответственно 85 и 172 мм.

На болотных станциях Росгидромета масса промерзания определялась визуально по совокупным признакам степени уплотнения и увлажне-

ния деятельного слоя торфяной залежи согласно методике, приведенной в [9, 12]. Сравнение результатов инструментальных наблюдений и визуальной оценки массы промерзания показывает, что они близки между собой. На основе результатов наблюдений на болотных станциях получены зависимости массы промерзания от глубины промерзшего слоя для ряда болотных массивов, а в пределах последних – по отдельным микроландшафтам и элементам микрорельефа. Так, в период максимальной глубины промерзания для грядово-мочажинного комплекса на болотном массиве Иласское зависимости имеют вид

$$\text{для гряд } m = 0.79H - 0.51 \quad \text{при } R = 0.92, \quad (3)$$

$$\text{для мочажин } m = 0.96H - 0.52 \quad \text{при } R = 0.98; \quad (4)$$

на болотном массиве Ламмин-Суо по данным наблюдений с 1949 по 2005 г. в этом комплексе

$$\text{для гряд } m = 0.74H - 0.57 \quad \text{при } R = 0.87, \quad (5)$$

$$\text{для мочажин } m = 0.96H + 0.18 \quad \text{при } R = 0.97. \quad (6)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что угловые коэффициенты в уравнениях (3, 7), относящихся к повышенным элементам микрорельефа, всегда меньше, чем на пониженных (4, 5). В грядово-мочажинных комплексах болотных массивов Иласское и Ламмин-Суо они в среднем равны соответственно 0.79 и 0.96. Это означает, что на пониженных элементах микрорельефа (мочажинах и западинах) численное значение массы про-

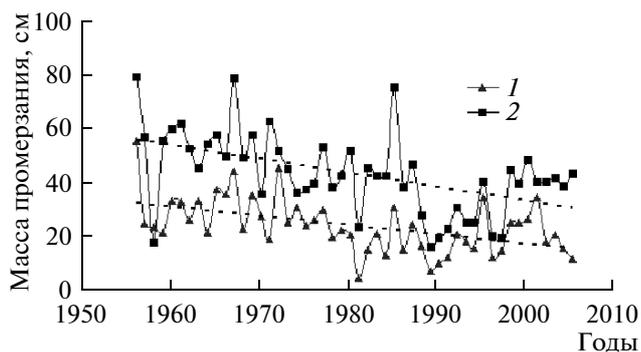


Рис. 1. Изменение массы промерзания гряд и мочажин в грядово-мочажинном комплексе болота Иласское за период наблюдений с 1956 по 2005 г. 1 – гряды, 2 – мочажина.

мерзания в большей мере приближается к толщине мерзлого слоя, чем на повышенных (грядах, подушках и др.), что обусловлено при значительном увлажнении мочажин плотностью их мерзлого слоя, близкой к плотности льда [7, 10].

За период наблюдений 1950–2008 гг. средняя глубина промерзания в центральных частях болотных массивов Ламмин-Суо и Иласский (рис. 1) изменилась значительно. В табл. 4 приведены максимальные и их средние глубины промерзания за зимний сезон, а также соответствующая им средняя масса промерзшего слоя в центральных частях болотных массивов. Установлено, что дата

Таблица 4. Средние H и максимальные H_{\max} из наибольших глубин, см, промерзания повышенных элементов микрорельефа и соответствующая им средняя масса промерзшего слоя m на болотных массивах (нижний индекс – количество лет, когда проводились наблюдения; здесь и в табл. 8 прочерк – отсутствие данных)

Годы	Ламмин-Суо			Ларьянский			Иласский		
	H	H_{\max}	m	H	H_{\max}	m	H	H_{\max}	m
1950–1960	21	32	13	–	–	–	37 ₅	56 ₅	32 ₅
1960–1970	21	26	15	–	–	–	42	62	32
1970–1980	21	31	14	26 ₉	34 ₉	12	34	41	27
1980–1990	16	24	10	20	31	9	23	47	15
1990–2000	15	30	8	24	41	–	27	45	21
2000–2008	17	23	10	23 ₇	34 ₇	–	27	45 ₅	21 ₅

начала промерзания болотного массива смещается на 1–1.5 декады позднее.

Анализ таблицы показывает, что на северо-западе и севере за рассматриваемый период глубины промерзания в среднем уменьшились соответственно на 4–5 и 12.5 см, а масса промерзания на 3–5 и 11–14 см. Отсюда следует, что в современных условиях при изменении климата в процессе формирования стока в зимних условиях на болотных массивах дополнительно вовлекаются значительные массы воды, которые ранее консервировались в промерзшем слое. Численно они равны эквивалентному слою массы промерзания минус равновесное содержание влаги в этом слое. В среднем для болот северо-запада и севера этот слой ориентировочно составляет от 30–40 до 70–90 мм. Вовлечение в процесс формирования стока этого слоя воды, а также воды, образовавшейся при фазовых переходах влаги в условиях зимних оттепелей, вызывает возрастания уровней болотных вод и стока в зимние месяцы. В табл. 5 приведены средние за 10-летние периоды уровни болотных вод в центральной части болота Ламмин-Суо. Период наблюдений можно представить в виде двух равных временных отрезков: с 1950 по 1979 г., когда уровни были относительно стабильные, и с 1980 по 2008 г., когда они начали изменяться. Во втором случае они повысились в декабре, феврале и марте на 8, в январе на 6 см, т.е. на 13–18% по отношению к средней многолетней амплитуде уровня.

Накопившиеся запасы влаги в мерзлом слое, которые превышают равновесное содержание влаги, не могут быть израсходованы на формирование стока в зимних условиях, так как находятся в твердом состоянии. Отсюда следует, что с увеличением глубины промерзания сток с болотного массива должен уменьшаться и, наоборот, возрастать при ее уменьшении. Масса промерзания за вычетом соответственной равновесной влажности – тот фактор, от которого зависит зимний сток с болот.

В зимний период с момента начала промерзания в различных микрорельефах в силу синхронности колебаний должно происходить плавное понижение уровня болотных вод. Однако при значительных глубинах промерзания, наблюдаемых в 1950–1970 гг., эта закономерность нарушалась. Причина таких отклонений – интенсивный рост толщины промерзания, при котором может наблюдаться поршневой эффект. Суть его заключается в том, что при интенсивном промерзании деятельного слоя, в условиях, когда уровень болотных вод располагается на границе промерзшего слоя или ниже ее, из-за разности плотности воды и льда растущие кристаллы льда вытесняют воду с порового пространства торфа, и уровень болотных вод поднимается к поверхности болота.

Таблица 5. Среднемесячные уровни, см, болотных вод в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте на болотном массиве Ламмин-Суо

Годы	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
1950–1959	–19	–23	–25	–26	–11
1960–1969	–18	–22	–24	–22	–10
1970–1979	–16	–19	–22	–21	–6
1980–1989	–10	–12	–14	–14	–4
1990–1999	–17	–17	–16	–14	–9
2000–2008	–14	–15	–16	–13	–7

Обычно явление поршневого эффекта характерно для северных болотных массивов.

Режимы уровней болотных вод в зимний период на севере и северо-западе зоны олиготрофных болот имеют определенное различие. На северо-западе зоны (Ламмин-Суо) среднемесячные уровни, начиная с декабря месяца по февраль, понижаются на 10 см. Повышение уровней в течение зимнего периода с 1950 по 1980 г. наблюдалось только в трех случаях, в остальных случаях – понижение, обусловленное миграцией влаги к фронту промерзания и стоком в дренирующие ручьи. Но в 1981–2008 гг. повышение уровней болотных вод в течение зимнего периода наблюдалось в девяти случаях, т.е. в 33% зим. Основные факторы зимнего повышения уровня – оттепели, в меньшей мере – выпадающие жидкие осадки. На северных болотных массивах в 1955–1985 гг. уровень болотных вод понижался только в трех случаях, в остальных 90% зим наблюдалось его повышение. В условиях отсутствия оттепелей повышение уровня может быть объяснено только действием поршневого механизма. В последующий период, в 1986–2007 гг., действие поршневого механизма наблюдалось значительно реже. Последнее возможно только в том случае, когда уровень болотных вод располагается ниже нижней границы промерзания.

В зимний период при промерзании торфяной залежи в деятельном слое существуют два потока

влаги: один – обусловленный гравитационным стоком по уклону в гидрографическую сеть болотного массива, второй – вертикальным потоком влаги к фронту промерзания. Интенсивность первого потока уменьшается по мере увеличения глубины промерзания и понижения уровня болотных вод, второго – возрастает в основном по мере увеличения температурного градиента, а величина накопления залежи в мерзлом слое в основном зависит от времени действия этого фактора. В зимний период при оттепелях или длительных повышениях температуры в мерзлой торфяной залежи наблюдается отток влаги, обусловленный фазовым превращением до состояния нового фазового равновесия. Влага, образующаяся в процессе фазового перехода, стекает с болотного массива [7]. Отсюда следует, что в зимний период формирование стока будет обусловлено следующими основными характеристиками деятельного слоя: глубиной промерзания деятельного слоя торфяной залежи и свободной влагой, накопленной в промерзшей зоне.

Суммарное воздействие этих факторов обуславливает увеличение зимнего стока на олиготрофных болотах севера и северо-запада России. На основном водоприемнике болотного массива Ламмин-Суо, руч. Южном, в 1950–1979 гг., когда уровни на болоте были стабильные, и в 1980–2008 гг., когда они начали изменяться, среднемесячные расходы увеличились в декабре с 11.3 до 12.4 л/с, в январе и феврале – соответственно с 4.61 до 10.0 и с 2.48 до 9.30 л/с. Если в декабре они возросли не более чем на 10%, то в январе и феврале увеличились соответственно в 2.4 и 3.8 раза.

Возрастают и максимальные среднемесячные расходы за эти периоды. В феврале 1990 г. максимальный среднемесячный расход достиг 89.3 л/с, в то время как за предшествующий период наблюдений аналогичный ему расход был равен 9.7 л/с (1955 г.). Столь высокие расходы воды в феврале объясняются более ранним началом снеготаяния. В марте этого года они уменьшились до 69.9, в апреле и мае до 17.3 и 2.8 л/с.

Уменьшение запасов воды в снежном покрове снижает его теплоизоляционные свойства, вследствие чего увеличивается глубина промерзания. Так, в 2007 г. на болоте Ламмин-Суо при максимальном запасе воды в снежном покрове, равном

Таблица 6. Среднемесячные расходы воды, л/с, за зимний период по гидроствору р. Черная–в/п Черная

Годы	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Средний за зимние месяцы
1963–1972	3.88	5.29	1.63	1.34	4.70
1973–1982	14.7	4.20	1.59	1.49	5.48
1983–1992	17.0	5.85	3.29	5.26	7.87
1993–2005	41.1	8.96	4.58	5.49	12.7

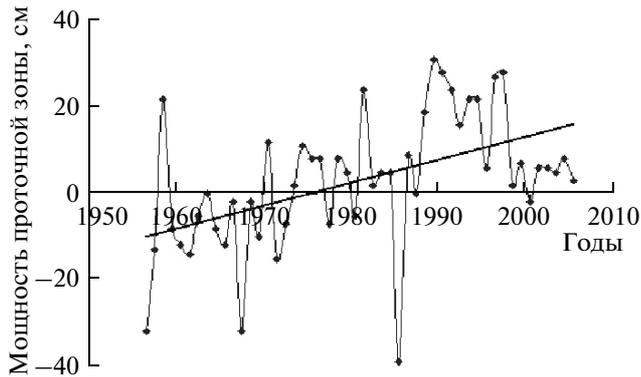


Рис. 2. Динамика мощности проточной зоны деятельного слоя торфяной залежи при климатических изменениях на болотном массиве Иласское.

70 мм, что соответствовало средней высоте снега 25 см, толщина мерзлого слоя возросла до 18 см, что привело к уменьшению зимнего стока.

Основной водоприемник болота Иласского — р. Черная (площадь водосбора 8.9 км²). Наблюдения за стоком воды с болота проводились с 1963 по 2005 г. Результаты наблюдений за зимние месяцы (декабрь—март) приведены в табл. 6. Анализ наблюдений показывает, что происходят существенные изменения стока с болотного массива за зимний период. За 20-летние периоды, с 1963 по 1982 и с 1983 по 2005 гг., средние расходы воды за зимний период возросли в 2 раза (с 5.09 до 10.3 л/с).

В зимний период сток с болотного массива может происходить при наличии проточной зоны в деятельном слое залежи. При отсутствии мерзлого слоя ее мощность определяется расстоянием от поверхности болота до горизонта торфяной залежи, коэффициент фильтрации которой близок к нулю. В условиях промерзшей залежи ее верхняя граница ограничена нижней границей промерзшего слоя. Если нижняя граница промерзшей зоны опускается ниже слоя с коэффициентом фильтрации, близким к нулю, то стока наблюдаться не будет. Если с 1956 по 1980 г. проточная зона в период максимальной глубины промерзания полностью промерзала в 17 случаев, то с 1981 по 2005 г. — только в трех случаях. Мощность проточной зоны в последнем периоде достигала >30 см. На рис. 2 приведена динамика проточной зоны в зимний период на болоте Иласском. Увеличение ее мощности совпадает с увеличением зимнего стока по р. Черной, которая дренирует болото.

В табл. 7 приведены характеристики глубин промерзания торфяной залежи в различных болотных провинциях страны и глубины расположения горизонтов торфяной залежи. Знак разности между средней глубиной промерзания и уровнем прекращения стока показывает наличие или

отсутствие проточной зоны на болотном массиве при максимальных глубинах промерзания.

В северо-западных и северных районах зоны олиготрофных болот сток прекращается, когда глубина промерзания достигает соответственно 32 и 48 см. Зная глубину нижней границы проточной зоны, можно определить условия внешней среды, при которых может наблюдаться приращение стока с болотного массива в зимних условиях. Используя простейшую зависимость глубины промерзания болота в виде уравнения $H = f[\Sigma(-T)]$, где $\Sigma(-T)$ — сумма среднесуточных температур воздуха от начала промерзания до наступления ее максимума, определяем сумму температур $[\Sigma(-T)]$, при которой глубина промерзания и граница слоя с коэффициентом фильтрации, близком к нулю (H_0), совпадают. Тогда приращение стока с болотного массива может наблюдаться в том случае, если $[\Sigma(-T)]_{\Delta H} > 0$. При этом $[\Sigma(-T)]_{\Delta H}$ — та величина среднесуточных температур, которая определяет промерзания торфяной залежи на глубину ΔH ниже границы H_0 . Она определяется из выражения

$$[\Sigma(-T)]_{H_{cp}} - [\Sigma(-T)]_{H_0} = [\Sigma(-T)]_{\Delta H}, \quad (7)$$

где $[\Sigma(-T)]_{H_{cp}}$ — сумма температур воздуха, необходимая для промерзания торфяной залежи на среднюю глубину промерзания H_{cp} в период стабилизации климата (равную 54 см), °С; $[\Sigma(-T)]_{H_0}$ — сумма температур воздуха, необходимая для промерзания торфяной залежи на глубину H_0 , соответствующую нижней границе деятельного слоя с коэффициентом фильтрации, близком к нулю ($H_0 = 40$ см).

Величина среднесуточной температуры воздуха за зимний период, в котором глубина промерзания будет равна H_0 , определяется из выражения

$$\Delta T = [\Sigma(-T)]_{\Delta H} / \tau, \quad (8)$$

где τ — интервал времени от начала промерзания до наступления максимальной глубины промерзания, сут.

Для грядово-мочажинного комплекса Западносибирской провинции северной и средней тайги (бассейн рек Вах, Ватинский Еган) зависимость глубины промерзания H , см, от суммы среднесуточных температур при толщине снежного покрова 55 см и меньше описывается выражением

$$H = 15.8 \ln[\Sigma(-T)] - 63.6 \quad \text{при } R = 0.96. \quad (9)$$

Согласно табл. 7 и зависимости (9) H и H_0 соответственно равны 54 и 40 см, а суммы температур — 1695 и 699°С. Тогда при τ , равном 170 сут, сток может наблюдаться при потеплении в том случае, когда будут созданы температурные условия среды, при которых среднесуточная температура должна

Таблица 7. Глубина промерзания и характеристики проточных зон болотных микроландшафтов олиготрофных болот некоторых болотных провинций России в период стабилизации климатических характеристик

Болотный микроландшафт	Глубина промерзания, см			Уровень прекращения стока, см	Характеристика проточной зоны*, см
	средняя	максимальная	минимальная		
Провинция Финско-Кольская северной тайги и лапландских аапа					
Крупнокочковатый грядово-мочажинный	65	84	46	-50	-15
Крупнокочковатый кустарничково-лишайниковый	60	81	49	-35	-25
Грядово-озерковый	54	83	40	-50	-4
Ладожско-Ильменско-Западнодвинская провинция олиготрофных грядово-мочажинных болот					
Грядово-мочажинный	46	56	39	-48	2
Сфагновик сосново-кустарничковый	37	54	20	-36	-1
Сфагновик кустарничково-пушицевый, облесенный низкорослой сосной	33	45	20	-28	-5
Провинция средней тайги выпуклых болот юго-восточной Финляндии и Карельского перешейка					
Грядово-мочажинный	23	34	11	-48	25
Сфагновик кустарничково-пушицевый, облесенный низкорослой сосной	21	32	9	-30	10
Сосняк сфагново-кустарничковый	20	30	12	-32	12
Сфагново-пушицевый	26	37	16	-18	-8
Печорско-Онежская провинция тайги и грядово-мочажинных болот					
Грядово-мочажинный с открытой водной поверхностью	44	62	32	-48	4
Грядово-мочажинный	42	60	32	-48	6
Грядово-мочажинный типа "Римпи"	51	76	32	-40	-11
Западносибирская провинция северной и средней тайги и олиготрофных грядово-мочажинных болот					
Грядово-озерковый (бассейн рек Вах, Агана, междуречье Пима и Тромъегана)	53	66	42	-44...-52	-5
Грядово-мочажинный (бассейн рек Вах, Ватинский Еган)	54	66	42	-38...-42	-14
Сосняк сфагново-кустарничковый (бассейн рек Вах, Конда)	56	70	42	-34	-22

* – минус означает, что граница промерзания расположена ниже уровня воды, при котором наблюдается прекращения стока с болота.

повысится в период промерзания залежи как минимум на 5.9°C/сут, а глубина промерзания уменьшится больше чем на 14 см.

Анализ характеристик проточных зон различных микроландшафтов этой болотной провинции показывает, что в современных условиях увеличение стока с болот в зимний период при максимальных глубинах промерзания здесь наблюдаться не будет.

На процесс формирования весеннего половодья оказывают совместное влияние зимние оттепели и уменьшение запасов воды в снежном покрове. Ряд исследователей отмечает увеличение

на европейской части России доли жидких осадков, что способствует увеличению зимнего стока. Результат этого – уменьшение массы накопленного за зиму снега на западе России [8]. С другой стороны, к началу весеннего половодья запас воды в жидкой фазе, израсходуясь зимой, понижает уровень болотных вод к началу весны. На подъем уровня воды в весенний период расходуется значительная часть талой влаги. В совокупности эти процессы в период изменения климата снижают характеристики стока на болотных массивах. На болоте Ламмин-Суо, руч. Южном за 1950–1980 и 1982–2008 гг. среднемесячные расходы воды за половодье (апрель) снизились на 12% (с 67.8 до

Таблица 8. Повторяемость ежедневных уровней болотных вод в вегетационный период в сфагново-пушицево-кустарничковом, облесенном сосной микроландшафте на болотном массиве Ламмин-Суо за 1959–2008 гг.

Уровни болотных вод, см		1959–1978 гг.	1979–1988 гг.	1989–2008 гг.
градации уровня	средний	повторяемость, %		
0...–5	–2.5	0.0	2.8	0.0
–6...–10	–7.5	2.8	17.2	3.8
–11...–15	–12.5	11.1	28.8	21.5
–16...–20	–17.5	15.6	20.1	27.7
–21...–25	–22.7	13.2	13.1	16.5
–26...–30	–27.5	15.2	9.2	10.6
–31...–35	–32.5	13.0	5.0	7.9
–36...–40	–37.5	12.6	2.3	4.5
–41...–45	–42.5	8.6	0.8	3.8
–46...–50	–47.5	4.3	0.6	2.0
–51...–55	–52.5	1.5	0.1	1.2
–56...–60	–57.5	1.0	0.0	0.4
–61...–65	–62.5	1.1	0.0	0.2

60.5 л/с). Если в первый период максимальные расходы наблюдались в апреле в 87% случаев, то во втором – исключительно в апреле. При этом также снижается и продолжительность половодья. Анализ максимальных расходов за первый период показывает, что средний из максималных расходов равен 518 л/с и превышает аналогичный расход за второй период (290 л/с) в 1.8 раза. Абсолютный максимум за первый период равен 1250 при минимуме 114 л/с, а соответствующие расходы во втором составили 830 и 77 л/с.

На северных болотных массивах максимальные среднесуточные расходы по мере изменения климатических характеристик возрастают. Если

сравнивать их средние значения за два периода, 1963–1983 и 1984–2005 гг., то они на р. Черной (водпост Черная) увеличились на 20% (с 1643 до 2048 л/с). Увеличение максимумов обусловлено дружностью весны и увеличением запасов воды в снеге на Иласском болоте на 28 мм.

Таким образом, максимальные расходы воды в период весеннего половодья в западной части зоны олиготрофных болот России при изменении климатических характеристик уменьшились, а в северной ее части – наоборот, возросли.

Для анализа динамики уровня болотных вод на северо-западных болотных массивах в период вегетации болотной растительности под воздействием изменения климата массив данных ежедневных наблюдений с 1959 по 2008 г. был разбит на три равных по времени отрезка. При этом для исключения искажения уровня режима в период вегетации болотной растительности из расчетов были исключены месяцы, когда наблюдалось влияние весеннего половодья (май) и осенних дождей (сентябрь). Вся амплитуда изменений уровней была разделена на градации по 5 см, в каждой из которых определялась повторяемость ежедневного уровня. Результаты расчетов приведены в табл. 8. В первом периоде (1959–1978 гг.) распределение уровней в диапазоне от –11 до –40 см было примерно равномерным, от 11 до 13–15%. В следующем (1979–1988 гг.) и последующем (1989–2008 гг.) периодах наибольшая повторяемость (20–28%) ежедневных уровней наблюдалась в диапазоне от –11 до –20 см, т.е. за последние 30 лет уровни возросли, а также возросла их повторяемость в этом диапазоне. Как следствие этого процесса, уменьшилась амплитуда изменения уровня болотных вод за вегетационный период.

Подъем уровней воды на болотных массивах за последние десятилетия сокращает продолжительность и частоту появления бессточных периодов на болотах. Отсутствие стока на болотах северо-запада России в зимы с 1950 по 1979 г. наблюда-

Таблица 9. Средняя продолжительность бессточного периода по данным инструментальных наблюдений на олиготрофном болотном массиве Ламмин-Суо

Годы	Бессточный период, сут				суммарный средний	Количество лет с бессточным периодом
	зимний		летний			
	средний	максимальный за год	средний	максимальный за год		
1950–1959	6.4	32	73.1	189	79.5	9
1960–1969	24.0	103	60.1	124	84.1	8
1970–1979	10.5	69	77.3	143	87.8	8
1980–1989	0.0	0	5.7	34	5.70	4
1990–1999	3.4	23	29.1	85	32.5	7
2000–2008	0.0	0	8.3	70	8.30	2

лось ежегодно, в среднем по 13–14 сут в год (табл. 9). Максимальное отсутствие стока зимой составило 103 сут. За летние месяцы сток в ручьях в среднем отсутствовал 70 сут. Максимальная продолжительность его отсутствия летом составила 189 сут.

Средняя продолжительность отсутствия стока с 1980 по 2008 г. уменьшилась до 1 сут за сезон, а максимальная продолжительность зимнего бессточного периода составила 23 сут. За эти же годы продолжительность бессточного периода в среднем составила 15 (максимальная 85) сут/год. Таким образом, средняя суммарная продолжительность бессточного периода за два рассматриваемых отрезка времени составила соответственно 84 и 16 сут, т.е. уменьшилась в 5 раз, а количество лет, когда отсутствовал сток, за каждое десятилетие так же уменьшилось в среднем от 8–9 до 6.

Подъем уровня болотных вод в вегетационный период, обусловленный изменением климатических характеристик, вызывает увеличение стока с болота. Для его оценки рассмотрим характеристики стока только в летние месяцы – с начала мая до конца августа; этим устраним влияние весеннего половодья и осенних дождей. Для ряда наблюдений за стоком с болота Ламмин-Суо по водосбору руч. Южного с 1956 по 2008 г. выделяются два характерных периода: 1956–1982 и 1983–2008 гг. Особенность первого периода наблюдений – наличие значительных по продолжительности бессточных летних периодов. Так, в августе в первый период они наблюдались в 15 случаях из 27 лет; во втором – только в пяти случаях. Низкое стояние уровней болотных вод в первом периоде обусловлено расходом влаги на испарение бóльшим, чем во втором, а также увеличением осадков во втором периоде. Среднемесячный расход воды в замыкающем створе руч. Южного в первом периоде был равен 3.61, во втором 6.01 л/с, т.е. увеличился в 1.7 раза.

Изменение климатических характеристик в западной части зоны олиготрофных болот оказывает влияние и на испарение с их поверхности. Анализ сезонных величин испарения на болотном массиве Ламмин-Суо свидетельствует о том, что за последние 20–25 лет произошло уменьшение испарения с поверхности болота (рис. 3). Если с 1956 по 1976 г. испарение изменялось от 300 до 450 мм, то с 1977 по 2007 г. изменения происходили в диапазоне от 210 до 330 мм, оно сократилось на 100 мм за сезон (на 28%).

В этой же части зоны на Ларьянском болотном массиве наблюдения за испарением проводились с 1974 по 1996 г. в грядово-мочажинном комплексе. Если разбить все время наблюдений на две равные части, 1974–1985 и 1986–1996 гг., то средняя величина испарения за первый период равна 376 мм, а за второй она сократилась до 320 мм. Та-

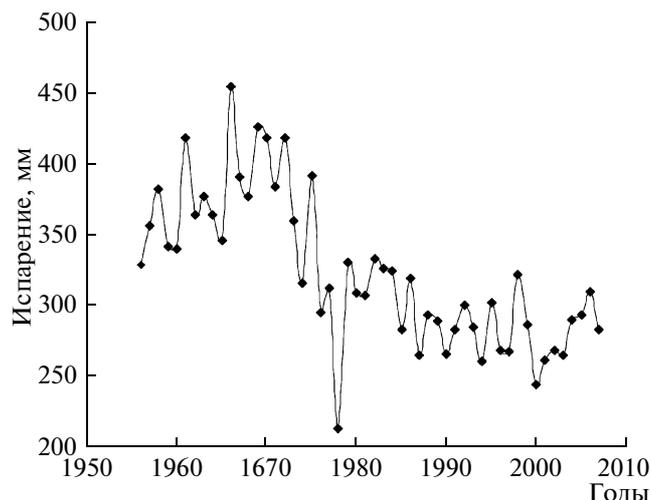


Рис. 3. Испарение за вегетационный сезон со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта за период наблюдений на болоте Ламмин-Суо с 1956 по 2007 г.

ким образом, уменьшение составляет 15%. На северных болотных массивах, в частности на Иласском, уменьшение испарения не наблюдается.

Анализ динамики составляющих водного баланса болота за продолжительный период наблюдений с 1951 по 2009 г. выполнен на основе расчета водного баланса руч. Южного. Площадь водосбора ручья равна 1.45 км². Степень заболоченности водосбора – 100%. Сток ручья полностью формируется на болотном массиве Ламмин-Суо.

Водный баланс болотного массива рассчитывается по уравнению [10]

$$X - Y - E - \Delta W = 0, \quad (10)$$

где X – осадки, Y – сток, E – испарение, ΔW – изменение влагозапасов в болоте. Величину стока с болотного массива можно рассматривать как две составляющие: сток поверхностным путем $Y_{\text{пов}}$ и отток воды подземным путем $Y_{\text{под}}$. Тогда уравнение запишется в виде

$$X - Y_{\text{пов}} - Y_{\text{под}} - E - \Delta W = 0, \quad (11)$$

откуда

$$Y_{\text{под}} = X - Y_{\text{пов}} - E - \Delta W. \quad (12)$$

Таким образом, величина невязки водного баланса представляет собой отток воды через дно болотного массива и неучтенный поверхностный сток по формирующимся ложбинам стока, образующимся при наступлении болотного массива на суходол. Результаты расчетов приведены в табл. 10.

Осадки в зимний и летний периоды измерялись по осадкомерам, установленным на болотном массиве. Годовая величина осадков изменяется в широких пределах – от 564 до 1218 (в среднем

Таблица 10. Водный баланс болотного руч. Южного по данным инструментальных наблюдений 1951–2008 гг. (площадь бассейна – 1.45 км²; степень заболоченности – 100%)

Годы	Осадки, мм			Испарение, мм			Русловой сток, мм			Изменение вла-гозапа-сов, мм	Водо-обмен	Суммар-ный сток
	за год	период года		за год	период года		за год	период года				
		теплый	холодный		теплый	холодный		теплый	холодный			
1951–1960	791	429	362	463	382	55	281	103	178	0	61	342
1961–1970	814	491	323	456	400	56	304	126	173	8	48	352
1971–1980	836	434	402	395	340	55	303	83	220	–4	141	444
1981–1990	944	564	380	363	305	58	434	128	306	–7	150	584
1991–2000	852	435	416	342	286	56	334	126	208	5	172	506
2001–2008	849	481	364	339	282	59	293	89	204	6	208	501
Среднее	848	472	374	393	332	56	324	109	215	1	130	454

848) мм. В теплый период года осадков выпадает в среднем 473, в холодный – 375 мм.

Испарение на болотном массиве определялось по методике, изложенной в [4]. Испарители были установлены в сфагново-кустарничково-пушице-вом, облесенном сосной микроландшафте.

В зимний период испарение со снега было принято равным 25 мм [10]. Годовая величина испарения изменяется в пределах от 300 до 536 (в среднем 393) мм.

Сток на руч. Южном измерялся на гидрометрическом сооружении. Средняя многолетняя величина годового стока, измеренного на этом сооружении, равна 324 мм.

Влагозапасы на болотном массиве определялись по методике, приведенной в [15]. Они рассчитывались по уровням воды в скважине, установленной в сфагново-кустарничково-пушицевым, облесенном сосной микроландшафте. Средняя многолетняя величина влагозапасов составляет +1 мм. В отдельные годы она изменяется от –91 до +26 мм.

Анализ составляющих водного баланса водосбора руч. Южного за холодное полугодие показывает, что тенденция увеличения осадков незначительная (табл. 10). Если весь период наблюдений (1951–2008 гг.) представить в виде двух отрезков времени – 1951–1980 и 1981–2008 гг., то средние величины зимних осадков равны соответственно 362 и 387 мм, т.е. различаются на 25 мм (6.7% их средней величины).

За эти же периоды зимний сток возрос от 190 до 239 мм, т.е. на 49 мм (22.8% среднего – 215 мм), а влагозапасы сократились с 36.7 до 13.3 мм, т.е. в 2.8 раза. Из-за приращения зимнего стока такое изменение влагозапасов возможно только в том случае, если уровни болотных вод будут высокими

и незначительно изменятся в начале (ноябрь) и конце (апрель) зимнего периода. Все это свидетельствует о том, что значительно возросла обводненность болота в зимний период.

Анализ составляющих водного баланса за теплое полугодие показывает, что испарение с водосбора с 1951 по 2008 г. непрерывно уменьшалось – от 38 до 282 (т.е. на 100) мм. Если за первый 30-летний период его среднемноголетнее значение было равно 374, то за второе – 291 мм. Величина среднемноголетних осадков за теплое полугодие в эти два 30-летних периода увеличилась на 42 (от 451 до 493) мм. Таким образом, увеличение стока за второй период по отношению к первому (соответственно от среднемноголетнего значения – от 104 до 131 (на 27) мм) обосновано. Изменение среднемноголетних значений влагозапасов за эти же периоды уменьшилось от 33 до 12 мм (практически в 3 раза).

Среднемноголетнее значение годовых осадков за два 30-летних периода также увеличивается от 814 до 882 (на 68) мм, среднегодовые за 10-летние периоды величины испарения непрерывно уменьшаются (табл. 10). Если в начальные десятилетия они составляли 463–456 мм, то за последние 20 лет они уменьшились до 34–339 мм. Таким образом, с одной стороны – уменьшение испарения в теплый период года на 100 мм, а с другой – увеличение годовых осадков на 68 мм неизбежно ведут к увеличению стока с болота. За эти два 30-летних периода измеренный годовой сток возрос от 297 до 354 (на 57) мм. В это же время увеличивается водообмен болота с суходолом. Анализ годовых значений водообмена позволил определить в первый 30-летний период наличие отдельных лет, когда наблюдались отрицательные значения водообмена, т.е. приток со стороны суходола и дренирование грунтовых вод ручьем. В дальнейшем это не

наблюдалось. За период наблюдений водообмен изменялся от -161 до 399 мм, возрастая ежегодно в среднем на 3.2 мм. За первый 30-летний период водообмен болота с суходолом (неучтенный сток) в среднем составлял 83 мм, за последний — возрос до 177 мм. Суммарный сток (измеренный годовой плюс водообмен болота с суходолом) за эти же периоды возрос на 151 (от 380 до 531) мм.

Рост водообмена с суходолом в условиях большой обводненности болота происходит за счет увеличения инфильтрационной составляющей стока. Поскольку болото развивается от своего генетического центра к окрайкам, то степень кольматации уменьшается от центра к периферии. На окрайках проницаемость зоны контакта торф-минеральный грунт значительно большая, чем в центральных частях массива, где она практически отсутствует. При высоких уровнях (что и наблюдается в последнее 30-летие практически во все времена года, а ранее это происходило в основном только весной) болотные воды затапливают окрайки с незначительной степенью кольматации пор грунта, и инфильтрационная составляющая стока возрастает. На относительно плоской местности в юго-западной части водосбора при большой обводненности болота формируются ложбины стока, постепенно переходящие в ручьи. Поэтому наблюдается интенсивный рост болота в сторону суходола, и неучтенный сток в этих условиях возрастает.

Согласно теории гидроморфологических зависимостей К.Е. Иванова [4] при изменении основных определяющих факторов в системе взаимосвязей на болотных массивах должны проявляться процессы, скорости протекания которых имеют один и тот же порядок. Наиболее значимый среди них — изменение уровней болотных вод в период вегетации растительности, а также процессы, развитие которых они обуславливают. В работах [4, 11] показано, что изменения водного режима болотных микроландшафтов, как в сторону повышения уровней и увеличения влажности, так и наоборот — в пределах, превышающих допустимую экологическую амплитуду, влекут за собой смену растительных ассоциаций или изменения их структуры.

Установлено, что различные виды произрастающей болотной растительности занимают определенное положение относительно среднего многолетнего уровня болотных вод. В работе [4] приведена экологическая амплитуда средних многолетних уровней болотных вод и превышения поверхности мохового покрова над средним уровнем. Для сфагновых мхов, фускума и магелланикума эти превышения составляют соответственно $25-37$ и $5-25$ см. Следовательно, в болотных фитоценозах моховых формаций центральной части болотного массива в настоящее

время должен происходить процесс уменьшения обилия *Sphagnum fuscum* и увеличения обилия *Sph. magellanicum* и *Sph. subsecundum*, для которого это превышение составляет от $5-10$ см.

Известно, что из-за относительно небольшого капиллярного поднятия воды в торфе малой степени разложения корневая система кустарничковой растительности (багульник, кассандра, подбел, вереск и др.) испытывает недостаток влаги при уровнях на 20 см ниже поверхности микроландшафта [12]. Анализ полученных результатов показывает, что по данным наблюдений с 1959 по 1978 г. повторяемость уровней больше 20 см наблюдалась только в 29.5% случаев за период вегетации болотной растительности. В остальное время, составившее 70.5% случаев, кустарнички произрастали в условиях дискомфорта — засухи или ее развития. Однако в это же время при уровнях ниже 20 см увеличивается мощность зоны аэрации и создаются условия для более комфортного произрастания сосны.

Наблюдениями установлено, что за последние 50 лет в центральной части болота Ламмин-Суо средняя высота сосны увеличилась от $1.5-2.0$ м при сомкнутости крон $0.-0.2$ до $3.5-4.5$ м при сомкнутости крон $0.3-0.4$. За более поздний период с 1979 по 2008 г. повторяемость уровней больше 20 см наблюдалась в $53-68.9\%$ случаев за вегетационный период, что отрицательно влияет на произрастание сосны.

Подъем уровня болотных вод, обусловленный изменением климатических характеристик, вызывает и увеличение горизонтальной проточности микроландшафтов. С ее увеличением возрастает приток растворенных минеральных компонентов к корневой системе растительности, улучшаются условия питания кустарничков и, как следствие, должен повышаться прирост их растительной массы. При подъеме уровня выше 20 см создаются более комфортные условия для кустарничков и одновременно — дискомфортные условия для сосны. Процесс изменения видового состава растительного покрова — длительный и соизмерим с интервалами времени в десятки и сотни лет. В настоящее время появляются первые признаки усыхания сосны в центральной части болотного массива и развитие новых ассоциаций болотной растительности.

Изменение режима уровня болотных вод в период вегетации болотной растительности, обусловленного климатическими изменениями, предопределяет и изменения эмиссии парниковых газов. Эмиссия метана CH_4 на болотах определяется взаимодействием прямо противоположных процессов: образованием его в анаэробных условиях метаногенами и окислением его метанотрофами. Первый процесс происходит ниже уровня болотных вод и ведет к образованию CH_4 , вто-

рой — в условиях доступа кислорода выше уровня болотных вод и ведет к образованию CO_2 и поглощению CH_4 [3]. Регулятор этих процессов — уровень болотных вод, так как он увеличивает или уменьшает активную зону, заселенную метанотрофами. Результаты опытов, проведенных на болоте Ламмин-Суо [6], показали, что с увеличением зоны аэрации до 35 см от поверхности болота эмиссия CH_4 практически прекращается. Полученная зависимость выражается уравнением вида $J = 7.7 - 0.22h$, где J — интенсивность эмиссии CH_4 , мг/м² ч; h — расстояние от поверхности болота до уровня болотных вод, см. Согласно табл. 8 повторяемость уровня болотных вод в диапазоне –31...–35 см и ниже за период наблюдений с 1959 по 1978 г. была равна 42.1% (в каждом вегетационном сезоне эмиссия CH_4 в среднем была равна нулю в 64 случаях из 153), а с 1979 по 2008 г. — понизилась до 8.8–20%. При современных климатических изменениях количество дней, когда эмиссия CH_4 равна нулю, сократилось до 30 за сезон. Понятно, что в эти дни возрастает эмиссия CO_2 [3, 5, 6].

Повторяемость уровней болотных вод в диапазоне –16...–20 см и выше в 1959–1978 гг. была равна 29.5% (такая ситуация наблюдается в среднем за сезон в 45 случаях), а в 1979–2008 гг. она возросла до 53–69%. Отсюда следует, что эмиссия CH_4 увеличивается не менее чем в 2 раза. Но эффективность этого явления значительно возрастает, так как отепляющий потенциал CH_4 в 3.7 раза больше, чем CO_2 [16]. Таким образом, изменение климата в последние десятилетия оказывает существенное влияние на гидрологический режим и устойчивость экосистем олиготрофных болотных массивов. Однако в пределах зоны олиготрофных болот России, в двух ее крупных регионах — северо-западном и северном интенсивность и характеристики этих изменений различны. Процесс изменений более интенсивный в северо-западном регионе, где он посредством изменения гидрологических характеристик оказывает влияние на все фазы гидрологического года, а также и на другие процессы, протекающие на болотах этой зоны.

ВЫВОДЫ

Оценка влияния климатических изменений на гидрологический режим болот выполнена на основе данных многолетних наблюдений (с 1950 по 2008 г.) на олиготрофных болотных массивах севера и северо-запада России. Анализ результатов наблюдений свидетельствует, что за зимний период возрастают как сумма положительных температур воздуха, так и количество оттепелей. Установлено, что на северо-западе с 1950 по 1970 г. существенных изменений не происходило, но с 1980 по 2008 г. наблюдалось увеличение среднесуточных величин положительных температур воздуха в среднем в

3 раза. Количество оттепелей за зимние месяцы анализируемых десятилетий возросло от 84–86 до 175. В северной части зоны олиготрофных болот происходит менее интенсивное их увеличение.

Установлено также, что в северной и северо-западных частях зоны олиготрофных болот происходит увеличение осадков. Среднее значение годовых осадков за два 30-летних периода на северо-западных болотах увеличилось от 814 до 882 (на 68) мм, т.е. на 8.4%.

Изменение температурного режима в сторону потепления приводит к изменению запаса воды в снеге, массы и глубины промерзания болот. Уменьшается глубина промерзания и аккумуляция воды в мерзлой толще, что приводит к росту зимнего стока. В северной части зоны по наблюдениям на р. Черной за 20-летние периоды с 1963 по 1982 и с 1983 по 2005 гг. средние расходы воды за зимний период возросли в 2 раза. Аналогичное увеличение стока наблюдается и на западных болотных массивах. Увеличение зимнего стока и уменьшение запасов воды в снеге неизбежно приводят к уменьшению весеннего стока с болот в рассматриваемых зонах.

Показано, что изменение климата обуславливает уменьшение испарения в западной части олиготрофной зоны болот, где оно сократилось на 90–100 мм за сезон, т.е. на 28%. На северных болотных массивах уменьшение испарения не наблюдается.

Рассмотрен процесс формирования всех составляющих водного баланса болотного ручья. Установлено, что происходит увеличение общего стока с болота и, как следствие, увеличение интенсивности заболачивания прилегающей территории.

Оценено влияние изменения гидрологического режима на растительный покров болота и режим парниковых газов. Установлено, что при повышении уровней болотных вод под влиянием климатических изменений эмиссия метана увеличивается не менее чем в 2 раза, а эмиссия двуокси углерода уменьшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болота Западной Сибири их строение и гидрологический режим. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 447 с.
2. Бородулин В.В., Калюжный И.Л., Новиков С.М. К методике измерений и расчетов промерзания болот // Тр. ГГИ. 1974. Вып. 222. С. 205–224.
3. Заварзин Г.А. Психрофильный цикл Зенгена // Экологическая химия. 1995. № 4. С. 3–12.
4. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975, 280 с.
5. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Сезонная эмиссия двуокси углерода в засушливый год на олиготрофном болотном массиве северо-запада России // Метеорология и гидрология. 2005. № 10. С. 8–93.

6. *Калужный И.Л., Лавров С.А., Решетников А.И. и др.* Эмиссия метана на олиготрофном болотном массиве северо-запада России // *Метеорология и гидрология*. 2009. № 1. С. 5–67.
7. *Калужный И.Л., Павлова К.К., Лавров С.А.* Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 261 с.
8. *Мохов И.И.* Оценки возможных региональных изменений гидрологического режима на основе глобальных климатических моделей // *Тр. Британско-Российской конф. "Гидрологические последствия изменения климата"*. Новосибирск, 2007. С. 140–151.
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеоздат, 1972. Вып. 8. 296 с.
10. *Рождественская В.Г.* Водный баланс болота Ламмин-Суо // *Сборник работ по гидрологии*. Л.: Гидрометеоздат, 1973. № 11. С. 129–139.
11. *Романов В.В.* Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 360 с.
12. *Романова Е.А.* О связи между растительностью, верхними слоями торфяной залежи и водным режимом верховых болот Северо-Запада // *Тр. ГГИ*. 1960. Вып. 89. С.92–122.
13. *Романов В.В.* Методы определения запаса воды в деятельном слое и расчет элементов водного баланса выпуклых болот // *Тр. ГГИ*. 1953. Вып. 39. С. 96–115.
14. *Суровов В.И.* Определение запасов влаги в деятельном слое болот гаммаскопическим методом // *Тр. ГГИ*. 1969. Вып. 177. С. 8–118.
15. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов // *Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата*. СПб., 2007. С. 20–32.
16. *Lashof D.A., Ahuja D.R.* Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming // *Nature*. 1990. V. 344. № 6265. P. 529–531.