

УДК 630*385:630*182.21

ТРАНСФОРМАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСУШАЕМЫХ СОСНЯКОВ КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Пономарева Т.И., Штанг А.К., Ярыгина О.Н., Селянина С.Б.

*ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова» УрО РАН, Архангельск, e-mail: ponomtamara@gmail.com*

Гидромелиорация лесов в таежной зоне имеет своей целью, прежде всего, отвод избыточной влаги с лесных территорий. Изменение гидрологических условий приводит к изменению микроклимата осушаемых участков. В статье представлены результаты изучения особенностей микроклимата осушаемых северо-таежных сосняков кустарничково-сфагновых с различной эффективностью осушения. Для исследования выбраны три ключевых участка: интактный, с эффективным и неэффективным осушением. Проведена оценка сезонной динамики температурного и влажностного режима ключевых участков, а также сезонной динамики уровня болотных вод и количества поступающих осадков. Установлено, что на осушаемых участках изменяются механизмы регулирования температурного режима. На интактном участке температурный режим регулирует в основном обводненная торфяная залежь, на участке с эффективным осушением главным регулятором температурного режима выступает древостой. На участках с неэффективным осушением колебания уровня болотных вод, сильно зависящие от количества поступающих осадков, в совокупности с функционированием древесного полога приводят к формированию парникового эффекта. Уровень грунтовых вод на нарушенных гидромелиорацией участках сосняков кустарничково-сфагновых сильно зависит от эффективности осушительных мероприятий. Сохранность осушительных каналов, сомкнутый древостой и отсутствие сфагновых мхов в доминантах растительного покрова обеспечивают поддержание болотных вод на уровне, комфортном для лесных экосистем, что и является основной целью лесосоосушения, тогда как на участке с неэффективным осушением обильный сфагновый покров, зарастающие каналы и угнетенный древостой не в состоянии эффективно регулировать уровень болотных вод.

Ключевые слова: осушаемые леса, верховые болота, температурный режим, уровень болотных вод, количество осадков

TRANSFORMATION OF MICROCLIMATE AND HYDROLOGICAL CONDITIONS OF DRAINED DWARF SHRUB-SPHAGNUM PINE FORESTS OF THE NORTHERN TAIGA OF THE ARKHANGELSK REGION

Ponomareva T.I., Shtang A.K., Yarygina O.N., Selyanina S.B.

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: ponomtamara@gmail.com*

The main target of the drainage of taiga forests is the removal of excess moisture from forest areas. Changes in hydrological conditions lead to changes in the microclimate of the drained areas. The article presents the results of studying the microclimate features of drained northern taiga dwarf shrub-sphagnum pine forests with effective and non-effective drainage. An assessment of the seasonal dynamics of the temperature and humidity regime, the water table level and the amount of incoming precipitation of index plots has been carried out. Three index plots were selected for the study: intact, effectively drained and non-effectively drained. Mechanisms for regulating the temperature regime are changing in the drained areas. If the temperature regime in the intact index plot is mainly regulated by a watered peat deposit, then in the index plot with effective drainage the temperature regime is mainly regulated by the forest stand. In the index plot with non-effective drainage, fluctuations in the level of bog waters, which strongly depend on the amount of incoming precipitation, together with the functioning of the tree canopy, lead to the formation of a greenhouse effect. The groundwater level in the index plots of dwarf-sphagnum pine forests disturbed by drainage strongly depends on the efficiency of drainage measures. The preservation of drainage canals, a closed forest stand, and the absence of sphagnum mosses in the dominants of the vegetation cover ensure the maintenance of bog waters at a level comfortable for forest ecosystems as the main target of forest drainage. The abundant sphagnum cover, overgrown canals, and suppressed forest stand are not able to regulate the level of bog waters in the plots with non-effective drainage.

Keywords: drained forests, raised bogs, temperature regime, bog water level, precipitation

Климатические особенности таежной зоны (низкие среднегодовые температуры, большое количество осадков) способствуют активному развитию болотообразовательного процесса. Заболоченные леса и болота занимают до 30% лесного фонда Европейского Севера России [1]. Причем на данных территориях преобладают про-

цессы олиготрофного заболачивания (доля верховых болот на территории Архангельской области составляет около 80%) [2]. Высокая заболоченность лесного фонда делает гидромелиорацию неотъемлемой частью современного хозяйственного освоения территории. Однако осушение верховых болот признано экономически не-

эффективным [3], поэтому на осушаемых верховых болотах практически не ведется хозяйственная деятельность, а уходы за осушительной сетью не проводятся. В результате осушаемые участки заболоченных лесов на верховых торфяных почвах развиваются в ходе естественных или прогрессивных, или восстановительных сукцессий [4].

Гидромелиорация – это, прежде всего, изменение гидрологического режима участков, что впоследствии приводит к изменению микроклимата, фитоценоза и почвы, а также микробиоты и фауны осушаемого участка. Изменение гидрологических условий тесно связано с микроклиматом территории [5]. Трансформация микроклиматических условий на небольших участках заболоченных лесов в результате осушения не оказывает влияния на климат обширных территорий. Однако, при активном промышленном освоении арктических и приарктических территорий и увеличении осушаемых площадей, совокупный эффект смены микроклимата может сказаться и на климатических условиях региона в целом. Понимание сущности процессов изменения микроклимата на эффективно и неэффективно осушаемых участках необходимо как для разработки мер по рациональному и эффективному ведению лесного хозяйства на таких участках, так и для эффективного восстановления болот с целью сохранения их экосистемных функций.

Цель исследования состояла в оценке влияния гидромелиорации на микроклимат участков осушаемых сосняков кустарничково-сфагновых, не испытывающих хозяйственной деятельности человека.

Материалы и методы исследования

Районом исследования выбран сильно заболоченный водораздел трех рек: Брусовица, Шухта и Бабья, бассейна Северной Двины в 55 км от Двинского залива Белого моря. Здесь сформировалась обширная система верховых болот (площадью около 89 га) с преобладанием сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов на мощных верховых торфяниках, подстилаемых мореной легкого и среднего гранулометрического состава. Климат района исследования характеризуется как умеренный холодный, слабо континентальный атлантико-арктический, с выраженным влиянием Белого и Баренцева морей [6].

Ключевые участки выбраны в сосняках кустарничково-сфагновых с различной степе-

ню нарушенности гидрологического режима в результате гидромелиорации: интактный (64°18'54"N; 40°41'14"E), с эффективным (64°19'16" N; 40°41'01"E) и неэффективным осушением (64°19'22"N; 40°40'29"E). Осушительная сеть в районе исследования проложена в 1972-1974 гг. методом открытого дренажа со средним расстоянием между каналами 100 м.

Замеры температуры и влажности воздуха на ключевых участках проводили на высоте 2,0 м от земли один раз в 14 дней в течение всего вегетационного сезона (май-октябрь 2021 г.) с применением комбинированного термогигрометра-люксметра-УФ-радиометра «ТКА-ПКМ-42» (ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург). Температурный режим напочвенного покрова и торфяной залежи на глубину до 1,0 м отслеживали в непрерывном режиме в течение всего вегетационного сезона (май-октябрь 2021 г.) с применением логгеров «Термохрон», помещенных в наблюдательные скважины. Данные по количеству осадков получали с метеопоста ТДБС «Брусовица». Уровень болотных вод измеряли один раз в 14 дней на каждом ключевом участке в течение всего вегетационного сезона (май-октябрь 2021 г.) в гидрологических скважинах диаметром 110 мм. На интактном участке использовали стационарные гидрологические скважины ТДБС «Брусовица». Кроме того, проанализирован массив метеорологических данных с ближайших к району исследований метеостанций «Архангельск» и «Холмогоры» [6].

Статистическую обработку полученных данных проводили с применением пакета анализа данных программы MS Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученного массива данных за вегетационный сезон 2021 года по температуре и влажности воздуха показал, что между значениями данных параметров на ближайших метеостанциях и на ключевых участках существует тесная связь. Для показателей температуры воздуха корреляция линейна. Для влажности воздуха зависимости разнятся. Зависимость от влажности воздуха на метеостанции «Архангельск» полиномиальная 2 порядка, тогда как от влажности воздуха на метеостанции «Холмогоры» – линейна. Корреляционные уравнения и коэффициент корреляции приведены в таблице.

Корреляционные уравнения и коэффициенты корреляции между температурными показателями на ключевых участках и на метеостанциях

Ключевой участок	Метеостанция «Архангельск»		Метеостанция «Холмогоры»	
	уравнение	коэффициент корреляции (R)	уравнение	коэффициент корреляции (R)
Температура воздуха				
Интактный участок	$y = 1,0861x - 1,1481$	0,99	$y = 1,1224x - 1,325$	0,99
С эффективным осушением	$y = 0,9948x + 0,9445$	0,97	$y = 1,0072x + 0,5483$	0,97
С неэффективным осушением	$y = 1,1404x - 0,2956$	0,98	$y = 1,1457x - 0,5562$	0,97
Влажность воздуха				
Интактный участок	$y = -0,0098x^2 + 1,9356x - 16,268$	0,97	$y = 0,725x + 15,045$	0,91
С эффективным осушением	$y = -0,0105x^2 + 2,0791x - 16,391$	0,95	$y = 0,7673x + 16,423$	0,77
С неэффективным осушением	$y = -0,0093x^2 + 1,9545x - 17,748$	0,99	$y = 0,9316x + 3,7211$	0,95

График динамики температуры и влажности воздуха за вегетационный сезон 2021 года для ключевых участков построен на основании полученных зависимостей (рис. 1). График динамики температуры растительного покрова и торфяной залежи построен по данным логгеров (рис. 2).

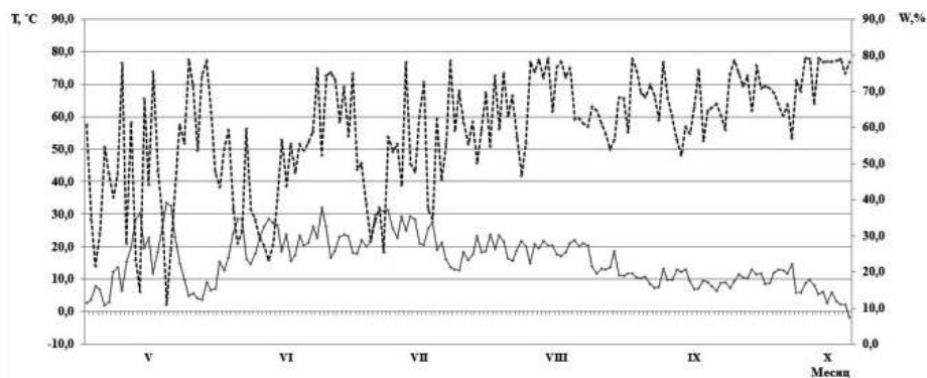
Вегетационный период на исследованной территории в 2021 г. длился 159 дней (7.05.2021-12.10.2021), что выше средне-многолетнего показателя длительности вегетационного сезона в 1,6-2,0 раза. Средняя температура июля для исследованных интактного участка составила 22,3 °С, при максимуме в 31,3 °С; для эффективно осушаемого участка – 22,1 °С, при максимуме в 30,1 °С; для неэффективно осушаемого – 24,8 °С, при максимуме в 34,1 °С. Максимумы температур в вегетационный сезон 2021 года наблюдались не только в июле, но и в мае. Во второй половине мая температура воздуха на исследованных участках кратковременно достигала 29,3-36,4 °С, сменяясь резкими снижениями до показателей 4,4-9,0 °С, что характерно для весеннего периода на территории районов Архангельской области, испытывающих влияние морских воздушных масс. Стабильное повышение температуры воздуха наблюдается с конца мая, температурные показатели достигают максимума в конце июня-начале июля (28,3-34,0 °С). Пик хода температур наблюдается в середине июля, после чего температура воздуха постепенно снижается, достигая ко 2-й декаде октября отрицательных значений.

В диапазоне низких температур, в течение всего вегетационного периода, воздух на открытом интактном участке прогревается хуже, чем на осушаемых участках, что связано с повышенным испарением и наличием ветра на участках с отсутствием древостоя. При повышении количества солнечной радиации наименьшие показатели температуры воздуха отмечаются на эффективно осушаемом участке, где поступающая солнечная радиация экранируется сомкнутым древесным пологом. На неэффективно осушаемом участке температура воздуха максимальна относительно остальных площадок в течение всего вегетационного сезона. Вероятно, здесь из-за избыточного увлажнения торфяной залежи и наличия древесного полога, пусть и разреженного, проявляется своеобразный парниковый эффект. При этом следует отметить, что разница температур воздуха на эффективно и неэффективно осушаемых участках увеличивается с повышением температуры, а при низких температурах она минимальна или отсутствует.

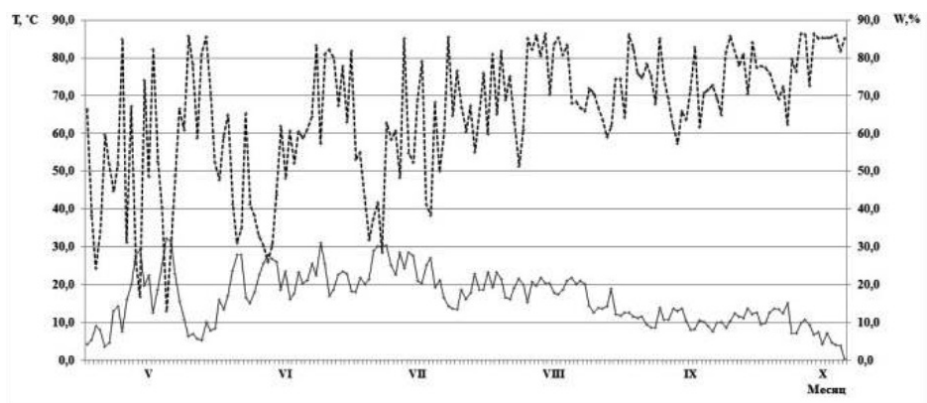
Влажность воздуха на ненарушенном участке изменяется в течение вегетационного сезона в пределах 11,0-82,1%; на участке с эффективным осушением в пределах 10,0-88,4%; на участке с признаками вторичного заболачивания 10,0-88,6%. На графиках (рис. 1) видно, что при повышении температуры воздуха его влажность снижается. Такая тенденция характерна для метеоусловий на всех исследованных участках. Однако статистически достоверной связи при про-

ведении двухфакторного корреляционного анализа не выявлено. На интактном участке обводненная торфяная залежь способствует меньшей амплитуде ежедневных колебаний влажности воздуха в течение всего вегетационного сезона, по сравнению с осушае-

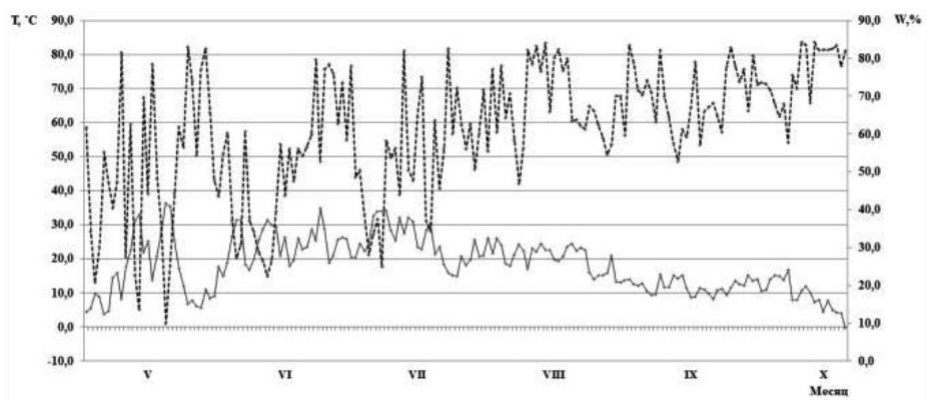
мыми участками. В диапазоне повышенной влажности (60-90%) амплитуды колебания влажности становятся значительно меньше на всех исследованных участках. В целом тенденции колебания влажности идентичны для всех исследованных участков.



а)



б)



в)

——— — температура воздуха - - - - - — влажность воздуха

Рис. 1. Динамика температуры и влажности воздуха в течение вегетационного периода 2021 г.:
а) интактный ключевой участок; б) ключевой участок с эффективным осушением;
в) ключевой участок с неэффективным осушением

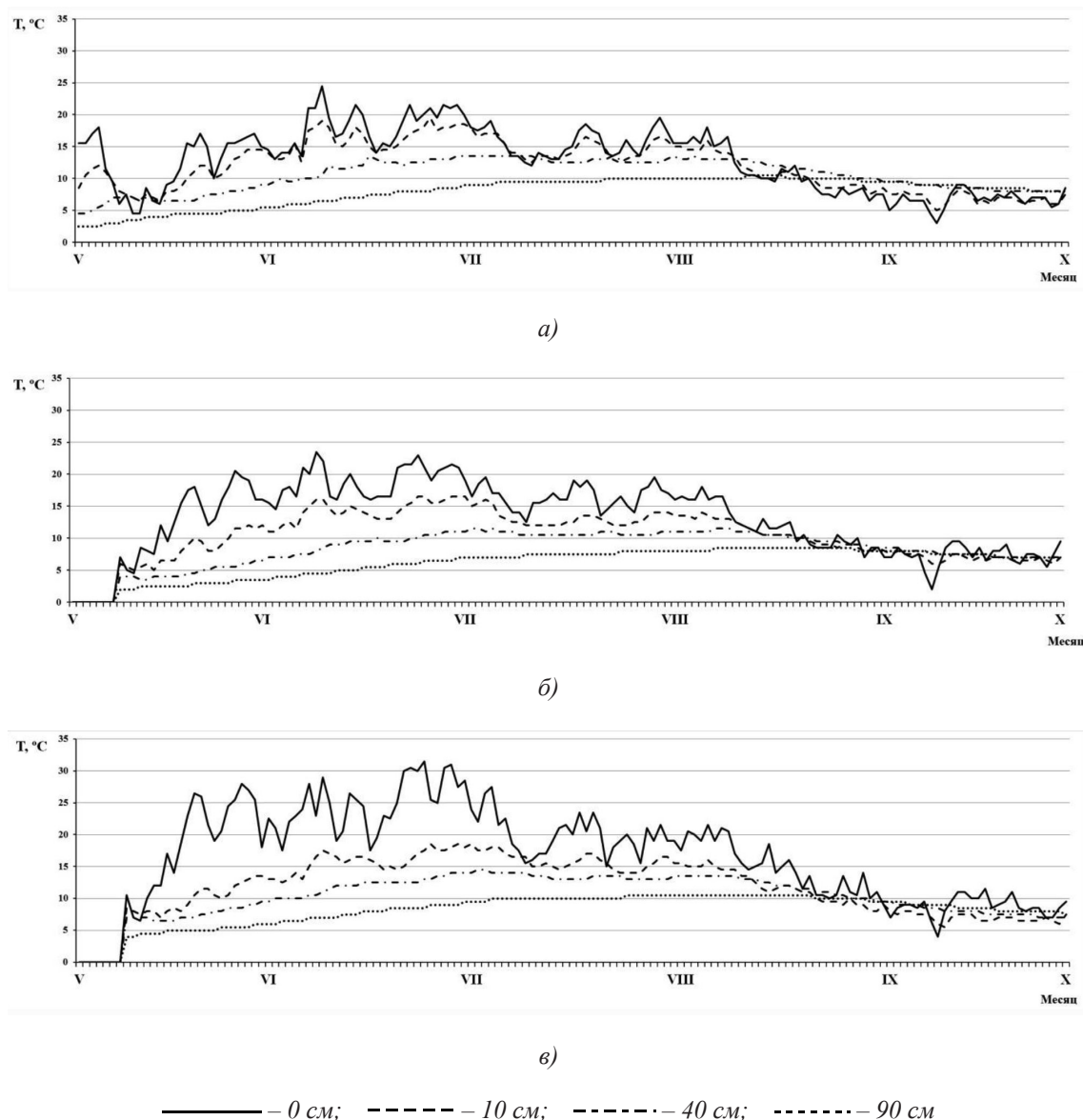


Рис. 2. Динамика температуры напочвенного покрова и торфяной залежи в течение вегетационного периода 2021 года: а) интактный ключевой участок; б) ключевой участок с неэффективным осушением; в) ключевой участок с неэффективным осушением

Тенденции, выявленные в динамике температурного режима воздуха на исследованных участках, подтверждаются термограммами торфяной залежи (рис. 2). В поверхностном слое и на глубине 10 см пиковые значения температур наблюдаются в те же даты, а максимальные значения также характерны для неэффективно осушаемого участка. Максимальные значения температуры поверхностного слоя торфяной залежи достигают $24,5^{\circ}\text{C}$, при этом температура воздуха составляет $30,7^{\circ}\text{C}$. В аналогичные периоды максимум температуры

поверхностного слоя торфяной залежи эффективно осушаемого участка не превышает 29°C при температуре воздуха $30,1^{\circ}\text{C}$, а для ненарушенного участка не превышает $23,5^{\circ}\text{C}$ при температуре воздуха $33,7^{\circ}\text{C}$.

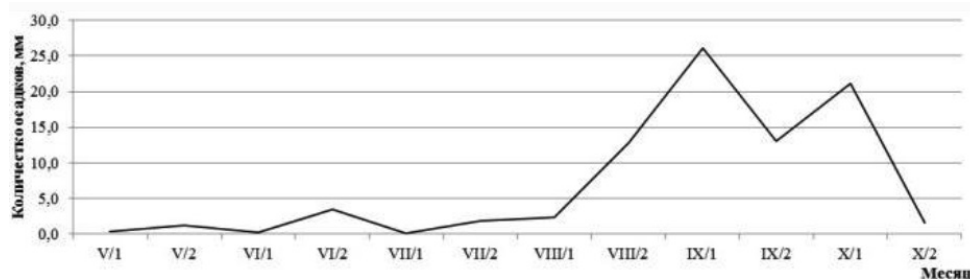
Особенности прогрева глубинных слоев торфяной залежи исследованных участков имеют ряд особенностей. В отличие от верхних слоев, колебания температуры практически отсутствуют уже на глубине 40 см. На всех участках наблюдается плавный рост температуры залежи, а затем торфяная залежь также равномерно начинает остывать. Ход

температур торфяной залежи на этих глубинах слабо зависит от температурного режима поверхностного слоя и воздуха. Плавность термограмм торфяной залежи исследованных участков связана с постепенным прогревом тела залежи в течение вегетационного сезона, а в конце августа-начале сентября нижние слои начинают также постепенно отдавать тепло верхним горизонтам. Нижние слои торфяной залежи на интактном участке максимально прогреваются к середине июля на глубине 40 см (до 13,5 °С), а на глубине 90 см максимальный прогрев (до 10,5 °С) наступает только в 3-й декаде августа. Торфяная залежь участка с эффективным осушением максимально прогревается на глубине 40 см на 2 недели раньше – в конце июня, а на глубине 90 см максимум температур наступает одновременно с максимумом температур на интактном участке. При этом максимальные значения температуры залежи в обоих слоях идентичны температурным максимумам на ненарушенном участке (13,5 и 10,5 °С соответственно). На участке с неэффективным осушением тенденции прогрева торфяной залежи по всей глубине залежи идентичны интактному. Однако максимумы температур ниже на 2,5-3,0 °С. Более быстрый прогрев торфяной залежи участка с эффективным осушением объясняется отводом талых вод осушительными канавами и хорошей аэрацией залежи, тогда как на остальных участках обводненные залежи тормозят процесс прогрева. Пониженные относительно остальных участков температурные максимумы в торфяной залежи участка с неэффективным осушением можно связать с совокупным действием древесного полога, экранирующего часть поступающей солнечной радиации, и высоким содержанием воды в залежи. Следует отметить, что остывать торфяные залежи всех исследованных участков начинают практически одновременно. Видимо, постепенное снижение температуры воздуха и повышение количества осадков в осенний период приводят к некоторому выравниванию микроклимата исследованных участков.

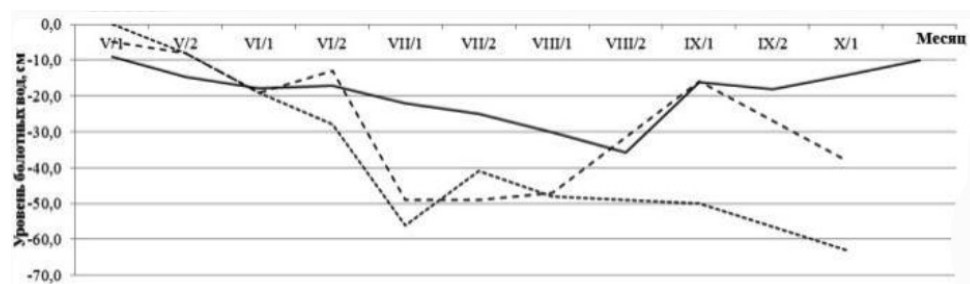
Термический режим болотных экосистем неотделим от гидрологического. С одной стороны, содержание воды в торфяной залежи является лимитирующим фактором не только для болотной флоры, но и важным регулятором микроклимата заболоченных территорий [5]. С другой, уровень болотных вод напрямую зависит от количества осадков и температурного режима конкретной территории [7]. Динамику

количества осадков за вегетационный период на исследованных участках отслеживали по данным, полученным на метеопосте ТДБС «Брусовица», расположенном в центре исследованного болотного массива (рис. 3а). Динамика уровня болотных вод на исследованных участках отражена на рисунке 3б. Максимальный уровень болотных вод наблюдается в период активного снеготаяния, когда торфяная залежь еще не оттаяла и внутренний сток затруднен. После периода активного снеготаяния уровень болотных вод на всех исследованных участках близок к дневной поверхности. На интактном участке в начале вегетационного сезона уровень несколько ниже (-9 см) за счет более эффективного испарения с открытой поверхности болота. Вегетационный сезон 2021 года, как видно из графика на рис. 3а, характеризовался малым количеством осадков (месячное количество осадков было намного ниже среднееголетней нормы).

При отсутствии осадков наблюдается постепенное снижение уровня болотных вод на всех участках. При этом на интактном участке уровень болотных вод остается выше, чем на осушаемых участках. Это можно объяснить как началом активной жизнедеятельности древесного и травянокустарничкового яруса на осушаемых участках по мере прогрева залежи в совокупности с работой осушительных каналов, так и тем фактом, что верхний слой сфагновых мхов – доминант фитоценозов олиготрофных болот – подсыхает, и процессы жизнедеятельности в напочвенном покрове затухают, а, соответственно, сокращается капиллярное поступление воды из нижних слоев залежи, что подтверждается другими исследователями [5]. Важно отметить, что в период исследования выпадение осадков происходило залпово. Преобладание ливневых осадков, а значит отсутствие глубокого смачивания напочвенного покрова интактного участка, способствовало плавному снижению уровня болотных вод, практически независимо от количества поступающих осадков. Такой характер осадков на осушаемых участках вызывал резкие колебания уровня болотных вод. Если на участке с эффективным осушением уровень болотных вод в целом имел тенденцию на снижение, то на участке с неэффективным осушением он нередко поднимался к дневной поверхности из-за зарастания каналов сфагновыми мхами и задержки воды в них после осадков, а также выхода в доминанты растительного покрова сфагновых мхов на межканальном пространстве.



а)



б)

Рис. 3. Динамика по двухнедельным периодам в течение вегетационного сезона: а) количества осадков; б) уровня болотных вод (— интактный участок; - - - - - участок с эффективным осушением; ······ - участок с неэффективным осушением)

Заключение

Таким образом, микроклимат участков лесоболотных экосистем, вне зависимости от антропогенной нарушенности, формируется под влиянием геоклиматических условий региона. Однако изменение гидрологического режима в результате гидромелиорации способствует появлению особенностей микроклимата на осушаемых участках по сравнению с интактными. Изменяются механизмы регулирования температурного режима на участках с эффективным осушением. Если на интактном участке температурный режим регулирует в основном обводненная торфяная залежь, то на участке с эффективным осушением главным регулятором температурного режима выступает уже древесной. На участках с неэффективным осушением микроклимат, как и гидрологический режим, менее устойчивы. Дискретно обводняющаяся торфяная залежь в совокупности с функционированием древесного полога приводит к формированию парникового эффекта на таких участках. Уровень грунтовых вод на нарушенных гидромелиорацией участках сосняков кустарничково-сфагновых сильно

зависит от эффективности осушительных мероприятий. Сохранность осушительных каналов, сомкнутый древостой и отсутствие сфагновых мхов в доминантах растительного покрова обеспечивают поддержание болотных вод на уровне, комфортном для лесных экосистем, что и является основной целью лесосушения. Тогда как на участках с неэффективным осушением обильный сфагновый покров, зарастающие каналы и угнетенный древостой не в состоянии эффективно регулировать уровень болотных вод. В результате уровень болотных вод зависит от поступления осадков, что вызывает его частые колебания в течение вегетационного сезона.

Список литературы / References

1. Юрковская Т.К. Взаимоотношения таежных лесов и болот в пространстве и времени // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 1–5. С. 1–4.
2. Соколов О.М., Ивко В.Р. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование. Архангельск: РИО АГТУ, 2000. 37 с.
- Sokolov O.M., Ivko V.R. Peat resources of the Arkhangelsk region and its use. Arkhangelsk: RIO AGTU, 2000. 37 p. (in Russian).

3. Тараканов А. М. Рост осушаемых лесов и ведение хозяйства в них. Архангельск: СевНИИЛХ, 2004. 228 с.

Tarakanov A.M. Growth of drained forests and management them. Arkhangelsk: SevNIILH, 2004. 228 p. (in Russian).

4. Нешатаев В.Ю. Антропогенная динамика таёжной растительности европейской России: дис.... докт. биол. наук. Санкт-Петербург, 2017. 312 с.

Neshataev V.Yu. Anthropogenic dynamics of taiga vegetation in European Russia: dis dokt. biol. nauk. St. Petersburg, 2017. 312 p. (in Russian).

5. Davis K.T., Dobrowski S.Z., Holden Z.A., Higuera P.E., Abatzoglou J.T. Microclimatic buffering if forests of the future: the role of the local water balance. *Ecography*. 2019. no. 42. P. 1–11.

6. Справочно-информационный портал «Гидромет-центр России» [Электронный ресурс]. URL: [http:// meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk](http://meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk) (дата обращения: 25.11.2021).

Reference and information portal «Hydrometeorological Center of Russia». [Electronic resource]. URL: [http:// meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk](http://meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk) (date of the application: 25.11.2021) (in Russian).

7. Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Гидротермический режим лесных болот в условиях воздействия природных и антропогенных факторов // *Вестник АГАУ*. 2019. № 6 (176). С. 71–78.

Inisheva L.I., Inishev N.G. Hydrothermal regime of forest bogs under the influence of natural and anthropogenic factors // *Vestnik AGAU*. 2019. No. 6 (176). P. 71–78 (in Russian).