

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98>

ОЦЕНКА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛОТНОГО МАССИВА ЛАММИН-СУО

Научная статья

Буржинский А.Г.¹, Гайдукова Е.В.^{2,*}, Волкова Н.А.³, Исаев Д.И.⁴, Батмазова А.А.⁵¹ ORCID : 0000-0002-2618-8959;² ORCID : 0000-0002-3547-5538;³ ORCID : 0000-0002-9272-4713;⁴ ORCID : 0000-0002-9691-5250;⁵ ORCID : 0000-0002-9135-4925;^{1, 2, 3, 4, 5} Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (oderiut[at]mail.ru)

Аннотация

Рассматриваются гидрометеорологические данные по болоту Ламмин-Суо, на котором располагается полевая экспериментальная исследовательская станция Государственного гидрологического института. Из болота Ламмин-Суо берут начало три ручья: Южный, Северный и Западный. Наблюдения на них осуществляются на постоянной основе. Целью исследования является установление и анализ взаимосвязей между расходами воды из вытекающих с болота стоков и уровнями болотных вод, уровнем болотных вод и количеством выпавших осадков, а также выявление реакции болотного массива на возможные изменения климата. Статистически обрабатываются ряды наблюдений за осадками, уровнями болотных вод и расходами воды с болота: ряды проверяются на однородность по среднему значению и по дисперсии, на значимость трендов, рассчитываются статистические характеристики (средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии). Выявленные асинхронные тренды у расхода воды и уровня болотных вод подтверждают текущее нарастание торфяной залежи. Установлены и проанализированы взаимосвязи между расходами вытекающей из болота воды и уровнем болотных вод, между уровнем и количеством выпавших осадков, а также выявлена современная реакция болотного массива на возможные изменения климата. Получено, что существует достаточно тесная связь между расходами воды и уровнями болотных вод, но эта связь может нарушаться и варьироваться в зависимости от текущей увлажненности болотного массива. Явной зависимости уровней болотных вод от осадков не выявлено. Знание взаимосвязей характеристик позволит давать прогнозы стока с болотных массивов и, в первую очередь, это касается верховых болот, сток с которых может попадать в реки, изменяя их уровненный режим. Дальнейшее развитие исследования будет направлено на разработку подхода прогнозирования стока с олиготрофных болотных массивов. Имеющиеся данные по болоту Ламмин-Суо будут использованы как типовые для составления поверочных прогнозов.

Ключевые слова: станция ГГИ, расход воды болота, уровень болотных вод, взаимосвязь характеристик, тренды.

ASSESSMENT OF HYDROMETEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LAMMINSUO BOG MASSIF

Research article

Burzhinskii A.G.¹, Gaidukova E.V.^{2,*}, Volkova N.A.³, Isaev D.I.⁴, Batmazova A.A.⁵¹ ORCID : 0000-0002-2618-8959;² ORCID : 0000-0002-3547-5538;³ ORCID : 0000-0002-9272-4713;⁴ ORCID : 0000-0002-9691-5250;⁵ ORCID : 0000-0002-9135-4925;^{1, 2, 3, 4, 5} Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (oderiut[at]mail.ru)

Abstract

Hydrometeorological data on the Lamminsuo bog, where the field experimental research station of the State Hydrological Institute is located, are examined. Three streams originate from the Lamminsuo bog: South, North and West streams. Observations on them are carried out on a permanent basis. The aim of the study is to establish and analyse the relationships between water flow rates from the outflows from the bog and bog water levels, bog water levels and precipitation, as well as to identify the response of the bog massif to possible climate change. Observation series of precipitation, marsh water levels and discharge from the marsh are statistically processed: the series are checked for homogeneity in terms of mean and variance, for significance of trends, and statistical characteristics (mean values, coefficients of variation and asymmetry) are calculated. Identified asynchronous trends in water discharge and bog water level confirm the current peat deposit growth. The relationships between the flow rate of water flowing out of the bog and the bog water level, between the level and the amount of precipitation were established and analysed, and the current response of the bog massif to possible climate changes was revealed. It was obtained that there is a fairly close relationship between water discharge and bog water levels, but this relationship may be broken and vary depending on the current wetting of the bog massif. No clear relationship between marsh water levels and precipitation has been identified. Knowledge of the interrelationship of characteristics will allow forecasts of runoff from bog massifs and, first of all, it concerns the upper bogs, runoff from which can get into rivers, changing their level

regime. Further development of the study will be aimed at developing an approach for predicting runoff from oligotrophic wetlands. The available data on the Lamminsuo bog will be used as a model for making verification forecasts.

Keywords: SHI station, bog water discharge, bog water level, interrelation of characteristics, trends.

Введение

В России болотные и заболоченные оторфованные земли покрывают 369,1 млн га, что составляет 21% от всей территории страны [4].

Болотом, или болотным ландшафтом, называется участок территории, характеризующийся обильным застойным, или слабо проточным увлажнением верхних горизонтов почво-грунтов. На этом участке произрастает специфическая болотная растительность с преобладанием видов, приспособленных к условиям обильного увлажнения и недостатка кислорода в почвенном субстрате [2]. Особенностью болот является процесс торфонакопления, при котором толщина отложившегося торфа не дает живым корням основной массы растений достигать подстилающего минерального грунта; если же корни достигают минерального грунта, то такие участки называются заболоченными землями [3].

Болота на водосборе способствуют снижению речного стока по сравнению с незаболоченными бассейнами в естественном состоянии. Верховые болота с микроландшафтами средней и слабой обводненности характеризуются относительно высоким стоком в половодье и низкой меженью, наиболее неравномерным распределением водности внутри года. Если на водосборе развиты сильно обводненные водораздельные озерно-болотные массивы или низинные болота, то у речного стока наблюдается менее значительная амплитуда колебаний водности внутри года [8].

Основным показателем гидрологического режима болота можно считать расход воды и, соответственно, модуль стока, слой стока [9]. На величину стока болота оказывают влияние выпадающие осадки, уровни болотных и грунтовых вод которые зависят от свойств торфа – дисперсности структуры, пористости, влажности и влагоемкости, содержания свободной и связанной воды, водоотдачи, водопроницаемости [1].

В свою очередь, изменения уровенного режима болотных массивов является одним из показателей питания рек [11], [12]. Болота могут накапливать в себе значительные объемы осадков, которые пропитывают болотные массивы и через некоторое время формируют сток с болота. Относительно быстрый сток происходит, в основном, с верховых (олиготрофных) болот, так как низинные (евтрофные) болота залегают в углублениях, которые долгое время препятствуют выходу стока с болота, кроме того, и питание низинных болот происходит за счет стекания поверхностных вод. Переходные (мезотрофные) болота могут иметь свой выраженный сток, который формируется и в результате выпадения осадков, и за счет поверхностного стока к болоту. Олиготрофные же болота являются возвышениями по сравнению с окружающим их ландшафтом и питание их происходит исключительно осадками. Ко времени, как болото дойдет до олиготрофной стадии, оно уже будет иметь ярко выраженный сток [3].

В данном исследовании будут рассмотрены основные гидрометеорологические характеристики болота: осадки, уровни болотных вод и расходы воды стока с болота.

Знание взаимосвязей данных характеристик позволит давать прогнозы стока с болотных массивов. В первую очередь это касается верховых болот, сток с которых может попадать в реки, изменяя их уровенный режим.

Рассматриваются данные по болоту Ламмин-Суо, на котором располагается полевая экспериментальная исследовательская станция Государственного гидрологического института (ГГИ). Период наблюдений за гидрометеорологическими характеристиками болота начинается с года первых наблюдений (для ручья Северный наблюдения начинаются с 1953 года, для ручья Западный – с 1955 года, для ручья Южный – с 1955 года) и заканчивается 2020 годом.

Материалы и методы

Целью исследования является установление и анализ взаимосвязей между расходами воды из вытекающих с болота стоков и уровней болотных вод, уровнем болотных вод и количеством выпавших осадков, а также выявление реакции болотного массива на возможные изменения климата.

Для достижения цели исследования были решены следующие задачи: – статистическая обработка временных рядов гидрометеорологических характеристик болотного массива Ламмин-Суо; – выявление и анализ взаимосвязей между имеющимися характеристиками; – описание и физическое обоснование выявленных взаимосвязей с перспективной возможностью построения математических моделей формирования стока с болотного массива.

Наблюдения на постоянной основе осуществляются на трех ручьях, которые берут начало из болота Ламмин-Суо: Южный, Северный и Западный (рис. 1).

Болотный массив Ламмин-Суо (болото Озёрное) расположен на водоразделе бассейнов рек Чёрная и Сестра, впадающих в Финский залив. Большая часть поверхностного стока с болотного массива стекает в бассейн реки Сестра. Гидрографическая сеть болота Ламмин-Суо состоит из пяти ручьев (но только на трех ведутся наблюдения) и одного временного водотока, дренирующих массив. Все они являются элементами первичной гидрографической сети этой водораздельной территории. Гидрография объекта исследований представлена тремя болотными озерами и четырьмя заросшими (погребенными) озерами с остаточными водными линзами [10]. Схема болотного массива Ламмин-Суо представлена на рис. 1, на котором различными цветами показаны микроландшафты болота и точками скважины болотных и грунтовых вод.

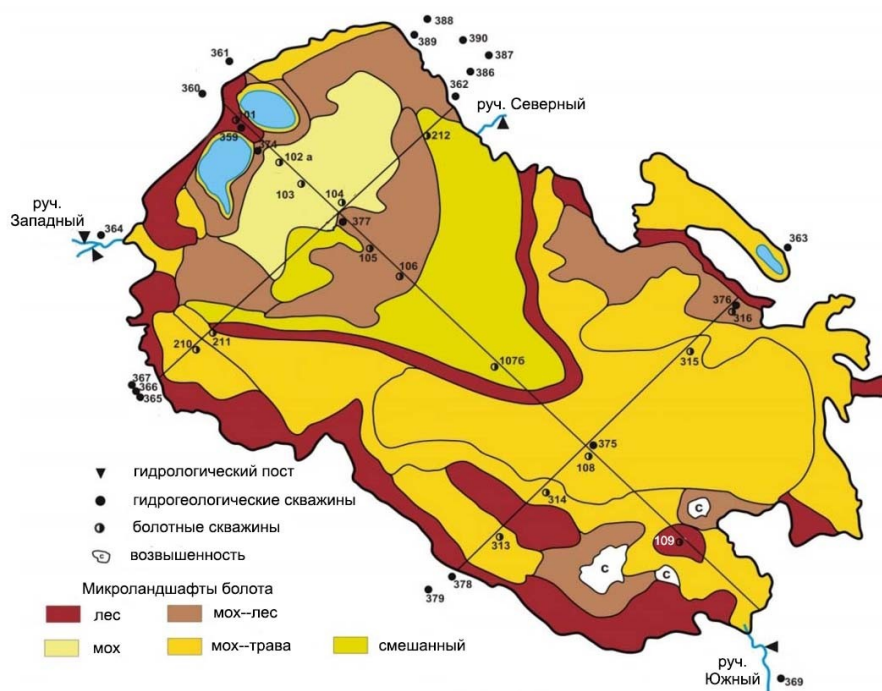


Рисунок 1 - Схема болотного массива Ламмин-Суо
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98.1>

Примечание: по ист. [10]

Исходными данными для достижения обозначенной цели стали ряды наблюдений за осадками, расходами и уровнями болотных вод (см., например, [6], [7]).

Ряды количества осадков не имеют пропусков и имеют продолжительность с 1950 по 2020 год.

Уровни болотных вод наблюдались по скважинам: для створа Южный – скважина 109 на схеме рис. 1, для Северного – 212 и позже – 1076, для Западного – 210.

На рис. 2–4 показаны совмещенные хронологические графики хода осадков, уровней болотных вод по скважинам и расходов воды вытекающих ручьев Южный, Северный и Западный из болота Ламмин-Суо.

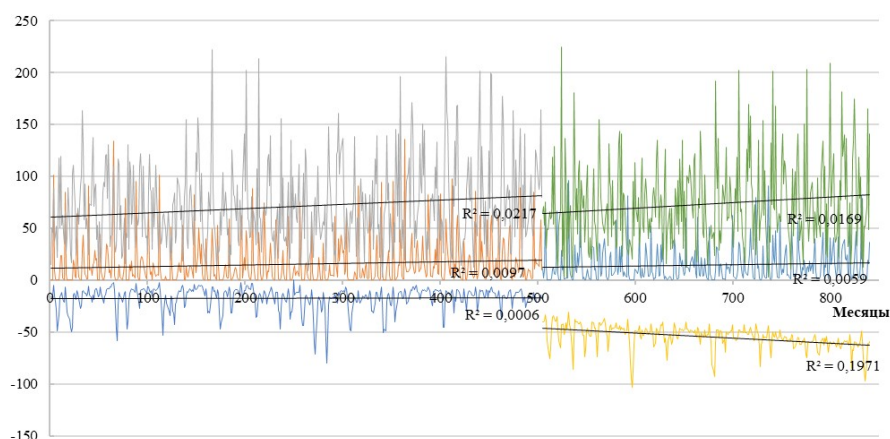


Рисунок 2 - Совмещенные хронологические графики хода гидрометеорологических характеристик для ручья Южный: синий – уровень болотных вод (период 1), см; жёлтый – уровень болотных вод (период 2), см; оранжевый – расход воды (период 1), л/с; голубой – расход воды (период 2), л/с; серый – осадки (период 1), мм; зелёный – осадки (период 2), мм

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98.2>

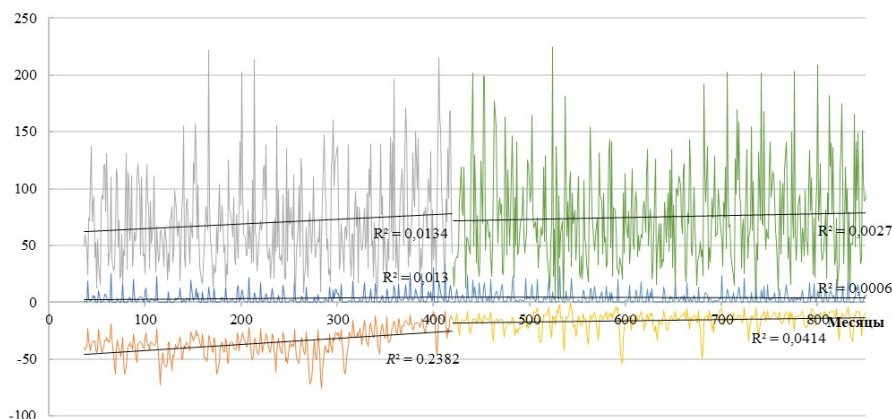


Рисунок 3 - Совмещенные хронологические графики хода гидрометеорологических характеристик для ручья Северный:
 оранжевый – уровень болотных вод (период 1), см; желтый – уровень болотных вод (период 2), см; синий – расход воды (период 1), л/с; голубой – расход воды (период 2), л/с; серый – осадки (период 1), мм; зелёный – осадки (период 2), мм
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98.3>

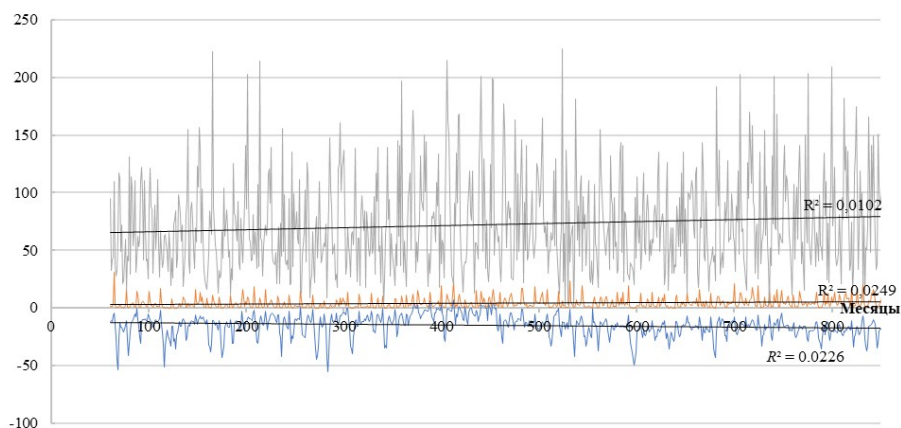


Рисунок 4 - Совмещенные хронологические графики хода гидрометеорологических характеристик для ручья Западный:
 синий – уровень болотных вод, см; оранжевый – расход воды, л/с; серый – осадки, мм
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98.4>

На рис. 2 показаны графики для ручья Южный. Видно, что в 1992 году произошла смена начала отчета для уровня вод из-за смены микроландшафта, поэтому дальнейший анализ делался для двух периодов – до смены (период 1) и после (период 2).

Данные по ручью Южный самые продолжительные с 1950 по 2019 год. Пики расходов воды соотносятся с подобными пиками уровней, однако не всегда происходит равноценное увеличение двух этих характеристик. Видны резкие колебания уровня в сторону минимальных значений, которые, в некоторых случаях, связаны с продолжительным уменьшением осадков. Однако, нередко наблюдается и тенденция увеличения осадков и, соответственно, расходов, но уровень болотных вод идет на понижение, что не коррелирует с увеличением перечисленных величин. Возможно, что часть осадков не доходит до болотных вод и сразу тратится на сток.

На рис. 3 для ручья Северный пики расходов и уровней болотных вод совпадают, хотя с некоторым добеганием, которое может достигать двух месяцев. Тренды осадков и уровня болотных вод идут на повышение, однако, расход не имеет значимого тренда. Также на графике заметно большое количество пиковых значений осадков, но у уровня болотных вод количество пиков в несколько раз меньше. Во второй период тренд на подъем болотных вод не наблюдается. Так же как и для ручья Южный, на ручье Северный в 1985 году произошла смена начала отчета: измерения по скважине 212 (номер на схеме рис. 1) в первый период прекратились, и была выбрана другая, ближайшая по характеристикам микроландшафта и высоте, скважина – 107б.

Данные по расходам воды для ручья Западный (рис. 4) являются суммой значений по двум ручьям, так как ручей расходится на два притока-ручья, на каждом из которых есть створ наблюдений. Наблюдается небольшой, но значимый тренд на понижение уровня болотных вод и такой же тренд на повышение расхода воды при явном росте общего количества осадков. Данный створ явно свидетельствует о том, что часть осадков не доходит до болотных вод,

а стекает по поверхности, однако при анализе видно, что пиковые значения расходов совпадают по месяцам с пиковыми значениями уровней болотных вод.

Основными методами исследования взаимосвязей между гидрометеорологическими величинами болота Ламмин-Суо будут являться методы статистического анализа, включающие оценки значимости выявленных на графиках трендов, проверку данных на однородность, вычисление статистических характеристик.

Результаты и дискуссия

В табл. 1 представлены статистические характеристики гидрометеорологических величин болота Ламмин-Суо.

В таблице «+» обозначены однородные ряды, «-» – неоднородные. Проверка на однородность производилась по критерию Фишера и Стьюдента. Получено, что однородными рядами по дисперсии и по среднему значению являются ряд расходов воды для ручья Северный и ряд осадков, причем при изменении длины ряда осадков получены различные результаты проверки на однородность, см. столбы 9 и 10 таблицы 1.

Одновременно неоднородные ряды по дисперсии и среднему значению присущи рядам расходов и уровней болотных вод для ручья Южный (первый и второй периоды) и для ручья Западный, ряды уровней и осадков для ручья Северный (второй период). Кроме того, для уровня болотных вод все ряды неоднородны по среднему значению, происходят значимые изменения среднего значения во второй половине исследуемого периода.

Следует отметить, что для ручья Западный ряды всех гидрологических характеристик являются неоднородными по двум показателям, а ряд осадков однородный. Данное явление можно объяснить эффектом детектирования, описывающего нелинейное преобразование системой линейного сигнала [5]. Этот вопрос требует тщательной проработки с добавлением исходной информации.

Выявлены значимые тренды у рядов расходов воды для ручья Западный, для рядов уровней болотных вод для ручья Южный во втором периоде, для ручья Северный в первый и второй периоды и для ручья Западный. Причем значимые синхронные тренды для расхода и уровня есть только у ручья Западный. Это говорит о тесной связи этих характеристик. Наличие же тренда у уровня болотных вод и отсутствие его у расхода говорит о нарастании торфяной залежи: уровень болотных вод относительно болотной поверхности остается примерно на том же самом уровне, но из-за изменения болотной поверхности уровень относительно этой поверхности идет на спад. Значимого предполагаемого эффекта от изменения климата не наблюдается, происходит рост болотного торфа.

Несмотря на выявленные значимые тренды в рядах расходов и уровней воды, для ряда осадков подобные тренды не выявлены. Есть определенный, «усвояемый» болотом, объем поступающей влаги, после превышения которого уровни болотных вод достигают критического значения и происходит их разгрузка в сток. С другой стороны, необходимо также выявить связи между выпавшими осадками и увлажненностью принимающего их болотного массива. Болото является специфическим водным объектом, которое нужно рассматривать постепенно и поэтапно, выявляя все больше закономерностей во взаимосвязях его характеристик.

Таблица 1 - Статистическая оценка гидрометеорологических характеристик

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98.5>

	Q, л/с			h, см			X, мм		
	n, мес.	дисперсия	ср. значение	n, мес.	дисперсия	ср. значение	n, мес.	дисперсия	ср. значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ручей Южный									
1 период	504	-	-	504	-	-	504	+	-
тренд 1	не значим			не значим			не значим		
Среднее 1	15,6			-17			71		
Cs 1	2,26			-1,91			0,99		
Cv 1	1,44			-0,63			0,56		
2 период	336	-	+	336	-	-	336	-	-
тренд 2	не значим			значим			не значим		
Среднее 2	14,6			-54			73		
Cs 2	1,96			-1,17			0,93		
Cv 2	1,20			-0,20			0,56		
Ручей Северный									
1 период	384	+	+	384	+	-	384	+	+
тренд 1	не значим			значим			не значим		

Средне е 1	3,45			–35			70		
Cs 1	2,46			–0,27			1,01		
Cv 1	1,58			–0,34			0,56		
2 период	432	–	+	432	–	–	432	+	+
тренд 2	не значим			значим			не значим		
Средне е 2	4,02			–16			75		
Cs 2	1,90			–1,66			0,90		
Cv 2	1,35			–0,47			0,56		
Ручей Западный									
Весь период	792	–	–	792	–	–	792	+	+
тренд	значим			значим			не значим		
Средне е	4,02			–15			72		
Cs	1,86			–0,81			0,97		
Cv	1,11			–0,62			0,56		

Примечание: Q – расход воды; h – уровень болотных вод; X – осадки; n – число месяцев наблюдения; Cs – коэффициент асимметрии; Cv – коэффициент вариации

Следует отметить большие значения коэффициентов асимметрии для расходов воды, показывающие отклонения средних значений от модальных. Причем коэффициенты имеют положительный знак, характеризующий, так называемый, режим «половодья», т.е. имеются выбросы значений в больший диапазон. Для уровня болотных вод характерные небольшие отрицательные значения коэффициента асимметрии – режим «засух», т.е. имеются резкие понижения отметок, что подтверждается и рисунком 2. Кроме того, значения коэффициентов вариации для уровня имеют отрицательный знак, что является результатом применения расчетной формулы в виде соотношения среднеквадратического отклонения к среднему значению, который для уровня имеет отрицательный знак.

Для всех ручьев коэффициент вариации для уровня болотных вод имеет меньшие значения, чем для расхода воды. Это может свидетельствовать о влиянии латентных факторов на формирование расходов воды стока с болотного массива.

На рис. 5 представлены построенные графики связи для расхода воды и уровня болотных вод, для уровня и осадков.

Видна общая для всех створов тенденция в связи расхода воды и уровня болотных вод, выражающаяся в экспоненциальной зависимости этих величин. Хотя и при нулевых значениях расходов воды отметки уровня могут достигать нескольких десятков сантиметров от поверхности болота – вода, формирующая сток с болота, расходуется на питание болотной растительности, испарение, впитывание. В большинстве случаев, чем больше значение расхода, тем ближе подходит уровень болотных вод к поверхности. Данные зависимости позволяют оценивать расходы воды по уровням болотных вод, измерение которых легче организовать при изысканиях.

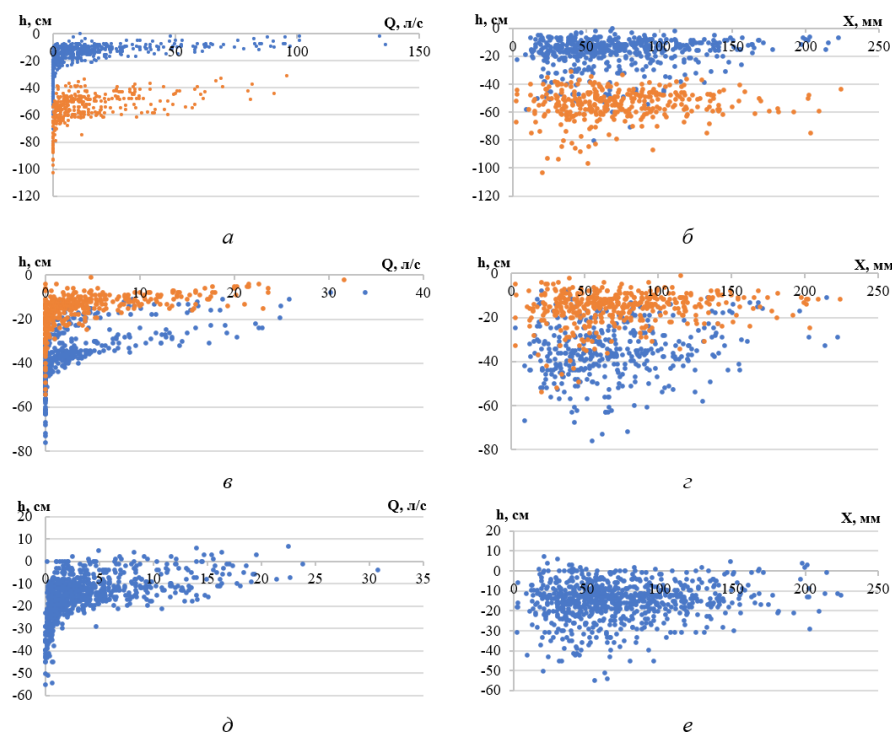


Рисунок 5 - Графики связи гидрометеорологических характеристик $h=f(Q)$ (где h – уровень болотных вод; Q – расход воды) (а, в, д) и $h=f(X)$ (где X – количество осадков) (б, з, е):
 а, б - ручей Южный; в, з - ручей Северный; д, е - ручей Западный
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.98.6>

Примечание: синие точки относятся к первому периоду, оранжевые точки – второй период наблюдений

Взаимосвязь уровней болотных вод и осадков выражается в синхронном увеличении данных характеристик, но поля точек имеют достаточно большую дисперсию, и связи являются незначимыми. Для болота зависимость $h=f(X)$ не является явной, и нельзя по осадкам судить об уровнях болотных вод, это требует привлечения дополнительных предикторов при описании рассматриваемой связи.

Заключение

Основным результатом исследования является обработка массива данных о поступающих осадках и болотном стоке за почти семидесятилетний период. Обработка включает статистический анализ с проверкой однородности рядов, выявлением значимых трендов, вычислением статистических характеристик для болота Ламмин-Суо.

Получены следующие значимые результаты исследования:

- для болотного массива присущ эффект детектирования, который помогает объяснить связь между осадками и расходами/уровнями воды болота;
- выявленные асинхронные тренды у расхода воды и уровня болотных вод подтверждают текущее нарастание торфяной залежи;
- значимого предполагаемого эффекта от регионального изменения климата на болоте Ламмин-Суо не наблюдается;
- существует достаточно тесная связь между расходами воды и уровнями болотных вод, но эта связь может нарушаться и варьироваться в зависимости от текущей увлажненности болотного массива;
- явной зависимости уровней болотных вод от осадков не выявлено.

Дальнейшее развитие исследования будет направлено на разработку подхода прогнозирования стока с олиготрофных болотных массивов. Имеющиеся данные по болоту Ламмин-Суо будут использованы как типовые для составления поверочных прогнозов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Guertin D.P. The peatland hydrologic impact model: development and testing / D.P. Guertin, P.K. Barten, K.N. Brooks // *Nordic Hydrology*. — 1987. — №18. — P. 79-100. — DOI: 10.2166/nh.1987.0007.
2. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К.Е. Иванов. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
3. Иванов К.Е. Гидрология болот / К.Е. Иванов. — Л.: Гидрометеиздат, 1953. — 305 с.
4. Инишева Л.И. Болотоведение / Л.И. Инишева. — Томск: Из-во Томского государственного педагогического университета, 2009. — 210 с.
5. Гайдукова Е.В. Феномен ненулевой нормы многолетних изменений общих запасов влаги речных бассейнов / Е.В. Гайдукова, Е.Ю. Голованова, В.В. Коваленко. — СПб.: Астерион, 2019. — 104 с.
6. Материалы наблюдений болотных станций за 1975 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 439 с.
7. Материалы наблюдений болотных станций и постов за 1990 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 374 с.
8. McKillop R. Modeling the rainfall—runoff response of a headwater wetland / R. McKillop, N. Kouwen, E.D. Soulis // *Water Resources research*. — 1999. — №35(4). — P. 1165-1177. — DOI: 10.1029/1998WR900084.
9. Инструкции для гидрометеорологических станций и постов. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — Вып. 8. — 360 с.
10. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере Ламмин-Суо) / Под ред. С.М. Новикова, В.И. Батуева. — СПб., 2019. — 448 с.
11. Романов В.В. Гидрофизика болот / В.В. Романов. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 300 с.
12. Шук К.П. Моделирование динамики запасов в гидрологических моделях водно-болотных угодий прерий: оценка и параметризации / К.П. Шук // *Гидрологические процессы*. — 2013. — №27(13). — С. 1875-1889.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Guertin D.P. The peatland hydrologic impact model: development and testing / D.P. Guertin, P.K. Barten, K.N. Brooks // *Nordic Hydrology*. — 1987. — №18. — P. 79-100. — DOI: 10.2166/nh.1987.0007.
2. Ivanov K.E. Vodoobmen v bolotnyh landshaftah [Water exchange in bog landscapes] / K.E. Ivanov. — L.: Gidrometeoizdat, 1975. — 280 p. [in Russian]
3. Ivanov K.E. Gidrologija bolot [Marsh hydrology] / K.E. Ivanov. — L.: Gidrometeoizdat, 1953. — 305 p. [in Russian]
4. Inisheva L.I. Bolotologija [Swampology] / L.I. Inisheva. — Tomsk: Tomsk State Pedagogical University Publishing House, 2009. — 210 p. [in Russian]
5. Gajdukova E.V. Fenomen nenulevoj normy mnogoletnih izmenenij obshhih zapasov vlagi rechnyh bassejnov [Phenomenon of non-zero norm of multi-year changes in total moisture reserves of river basins] / E.V. Gajdukova, E.Ju. Golovanova, V.V. Kovalenko. — SPb.: Asterion, 2019. — 104 p. [in Russian]
6. Materialy nabljudenij bolotnyh stancij za 1975 g. [Materials of observations of bog stations for 1975] — L.: Gidrometeoizdat, 1975. — 439 p. [in Russian]
7. Materialy nabljudenij bolotnyh stancij i postov za 1990 g. [Materials of observations of bog stations and posts for 1990] — L.: Gidrometeoizdat, 1990. — 374 p. [in Russian]
8. McKillop R. Modeling the rainfall—runoff response of a headwater wetland / R. McKillop, N. Kouwen, E.D. Soulis // *Water Resources research*. — 1999. — №35(4). — P. 1165-1177. — DOI: 10.1029/1998WR900084.
9. Instrukcii dlja gidrometeorologicheskijh stancij i postov. Gidrometeorologicheskie nabljudenija na bolotah [Instructions for hydrometeorological stations and posts. Hydrometeorological observations on bogs]. — L.: Gidrometeoizdat, 1990. — Iss. 8. — 360 p. [in Russian]
10. Gidrometeorologicheskij rezhim i vodnyj balans verhovyh bolot Severo-Zapada Rossii (na primere Lammin-Suo) [Hydrometeorological regime and water balance of upland bogs of North-West Russia (on the example of Lammin-Suo)] / Ed. by S.M. Novikov, V.I. Batuev. — SPb., 2019. — 448 p. [in Russian]
11. Romanov V.V. Gidrofizika bolot [Wetland hydrophysics] / V.V. Romanov. — L.: Gidrometeoizdat, 1961. — 300 p. [in Russian]
12. Shuk K.P. Modelirovanie dinamiki zapasov v gidrologicheskijh modeljah vodno-bolotnyh ugodij prerij: ocenka i parametrizacii [Modelling stock dynamics in hydrological models of prairie wetlands: assessment and parameterisations] / K.P. Shuk // *Gidrologicheskie processy* [Hydrological processes]. — 2013. — №27(13). — P. 1875-1889. [in Russian]