

УДК 556.512

Л. И. Дубровская, Д. В. Дроздова, С. А. Кураков

ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА И ИХ ДИНАМИКА НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ВОДОСБОРАХ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА¹

Представлены результаты расчета элементов водного баланса для трех репрезентативных водосборов Васюганского болота с различной степенью заболоченности по месячным интервалам за период 1990–2009 гг. Анализируется многолетняя динамика осадков, испарения и расходов воды на этих водосборах, воздействие изменений климата на гидрологический режим болотных массивов. Оцениваются соотношения между элементами водного баланса в различные по водности годы.

Ключевые слова: заболоченный водосбор, гидроклиматические ресурсы, испарение, сток, теплолагообеспеченность, лесоболотная зона, Западно-Сибирская равнина, гидрологический режим.

В ходе эволюционного развития лесоболотной зоны Западно-Сибирской равнины бесспорно значимое место принадлежит Васюганскому болоту, которое в современном виде образовано из 158 относительно автономных массивов и их отрогов с суммарной площадью приближающейся к 6,8 млн га (с учетом прилежащих групп заболоченных и болотных лесов, переувлажненных и заторфованных редколесий) [1]. В орографическом и геоморфологическом отношении Васюганское болото расположено в основном на Васюганской наклонной равнине, географически – в Обь-Иртышском междуречьи в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины.

Васюганское болото, будучи крупнейшим в мире центром торфонакопления, вносит существенный вклад в глобальные циклы накопления органического вещества и теплолагопереноса.

Многочисленные исследования климатических особенностей территории Сибири выявили на настоящее время пространственную неоднородность климатических изменений с отдельными **очагами** ускоренных темпов потепления в данном регионе. В Западной Сибири очаг с высокими темпами увеличения среднегодовой температуры отмечен в северо-восточной части территории [2–4], имеются очаги роста температуры и осадков в зимний период в юго-восточных районах, а в температурах летнего и осеннего сезонов значимых изменений не обнаружено.

Соотношение тепла и влаги играет важнейшую роль в формировании природных комплексов, в направлении и интенсивности природных процессов, что отчетливо проявляется в высокой степени заболоченности Западно-Сибирской равнины. В умеренной лесной (бореальной) зоне на территории Сибири пространственная картина влагосодержания почвы (торфа) существенно неоднородна за счет многочисленных болот. Глубина грунтовых вод в болотах невелика (максимум 60–70 см), и по-

верхность оказывается временно или постоянно насыщена влагой. Физические и экологические свойства болот существенно отличают их от соседствующих водораздельных пространств, и формирование стока и испарения с болот имеет специфические черты [5].

Фундаментальные воднобалансовые исследования для различных природных зон Западной Сибири, обобщенные в монографии [6], проводились более 40 лет тому назад. За прошедшие годы изменилась антропогенная нагрузка на территорию, инструментально фиксируются значимые тренды климатических характеристик.

Изменение гидрологического режима болотных массивов, как первичных элементов гидрографической сети, оказывает влияние на гидрологический режим заболоченных водосборов, поэтому механизм и результаты воздействия изменения климата на гидрологический режим болотных массивов являются вопросами актуальными и требующими рассмотрения.

Цель данной работы: исследование проявлений климатических изменений на элементах водного баланса заболоченных водосборов левобережных притоков средней Оби, стекающих из Васюганского болота; выявление основных закономерностей и связей в наблюдаемых пространственных и временных изменениях; получение достоверных количественных оценок их пространственных и динамических характеристик.

В условиях недостаточности гидрометеорологической, тепло- и воднобалансовой изученности Западной Сибири количественная оценка элементов влаго- и теплообмена была реализована в данной работе методом гидролого-климатических расчетов В. С. Мезенцева (ГКР) с использованием стандартной гидрометеорологической информации Росгидромета [7].

Объекты исследования. Гидрометеорологических постов на исследуемой территории немного,

¹ Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (09-05-00395-а, 9-05-00235-а) и Роснауки (госконтракт № 02.740.11.0325).

поэтому основным требованием являлись полнота гидрометеорологической информации и различия в степени заболоченности. На первом этапе рас-

считывался водный баланс для трех рек, гидрографические характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Гидрографические характеристики рек

Река – пост	F, км ²	Расстояние до устья, км	Начало наблюдений, год	Репрезентативная метеостанция	Заболоченность, %
Икса – с. Плотниково	2560	262	1936	с. Бакчар	49
Чузик – с. Осипово	7090	82	1956	с. Пудино	35
Васюган – с. Майск	3730	860	1960	с. Майск	35

Метеоданные (ежемесячные осадки, температура, дефицит влажности, высота и плотность снежного покрова) для периода 1990–2009 гг. привлекались по ближайшим метеостанциям – Бакчар, Пудино, Майск. Данные по наименьшей влагоемкости почвы определялись по агроклиматическим справочникам и по данным стационарных наблюдений.

Стационарные наблюдения за водным и температурным режимами торфяной залежи в бассейне р. Бакчар велись с помощью автономного болотного измерителя, являющегося частью информационно-измерительной системы для непрерывного мониторинга характеристик состояния окружающей среды, разработанного в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН под руководством одного из авторов [8].

Методика расчета. Расчеты суммарного испарения и влажности почвы по методу Мезенцева сводятся к решению системы уравнений:

а) водного баланса

$$KX + W_1 - W_2 = Z + Y, \quad (1)$$

б) уравнения связи

$$Z = Z_m (1 + ((KX + W_1 - W_2)/Z_m)^n)^{-1/n}, \quad (2)$$

в) связи испарения с влажностью почвы

$$Z = Z_m (1 + V^{-nr})^{-1/n}, \quad (3)$$

г) уравнения зависимости средней влажности от начальной и конечной

$$V_{cp} = (V_1 + V_2)/2, \quad (4)$$

где KX – атмосферные осадки с поправками к осадкомерным приборам; $(W_1 - W_2)$ – изменение запасов влаги в почвенном покрове на начало и конец расчетного периода; Z – суммарное испарение; Y – суммарный сток; Z_m – максимально возможное суммарное испарение; $V = W/W_{hb}$ – относительная влажность почвы (в долях наименьшей влагоемкости); W_{hb} – наименьшая влагоемкость; n, r – параметры.

Параметр n учитывает факторы подстилающей поверхности. Параметр r характеризует свойства почв проводить влагу. Численные значения его колеблются в пределах: для легких почв от 1.1 до 1.5;

для тяжелых от 2.0 до 3.0 и более. Величину параметра n в условиях Западно-Сибирской равнины можно принимать равной 3 [9].

Решая совместно уравнения (1)–(3), после некоторых преобразований можно получить расчетную формулу

$$V_{cp} + (2W_{hb}/Z_m) V_{cp} = KX/Z_m + 2W_{hb}/Z_m. \quad (5)$$

Решение (4) при известных KX, Z_m, W_{hb} и r осуществляется методом последовательных приближений. Распределение Z_m по месяцам производилось пропорционально месячным дефицитам влажности воздуха.

Необходимые при внутригодовом расчете испарения значения W_{hb} и r определялись из литературных источников. Расчеты ведутся для гидрологического года.

Обсуждение результатов расчетов. Динамика элементов водного баланса для водосбора р. Икса у с. Плотниково:

Изменение осадков (приходная часть баланса) регистрируется в диапазоне от 317 до 595 и в среднем составляет 476 мм. В теплый период года (апрель–октябрь) в среднем выпадает 75 % годовой суммы, в холодный (ноябрь–март) – 25 %. В ходе изменения осадков во времени прослеживается слабая тенденция роста осадков за рассматриваемый период.

Величина испарения с заболоченного водосбора (основная расходная часть баланса) колеблется в пределах от 301 до 399 мм. Средняя величина испарения за период равна 386 мм, что составляет 81 % расходной части водного баланса. Испарение за холодный период составляет всего 7 % годовой суммы, т. е. почти на порядок меньше, чем за теплый период. При анализе изменения этой составляющей водного баланса во времени прослеживается слабая тенденция роста за рассматриваемый период.

Значительной изменчивостью (от 28 до 248 мм) во времени характеризуется *руслевой сток*. Средняя величина руслового стока за период составляет 84 мм (18 % расходной части баланса). Изменения годовых величин руслового стока в значительной степени соответствуют изменениям годовых осадков.

Изменения *влагозапасов* свидетельствует о значительных колебаниях этой составляющей водного баланса в многолетнем разрезе (от -93 до +75 мм), средняя многолетняя величина за рассматриваемый период равна 8 мм.

Динамика элементов водного баланса водосбора р. Чузик – с. Осипово. Диапазон изменения *осадков* (приходная часть баланса) – от 419 до 699 мм, в среднем составляет 517 мм. В теплый период года в среднем выпадает 377 мм (73 % годовой суммы), в холодный – 140 мм (27 %). В ходе изменения осадков во времени прослеживается слабая тенденция роста осадков за рассматриваемый период.

Величина *испарения* с водосбора (основная расходная часть баланса) колеблется в пределах от 307 до 414 мм. Средняя величина испарения за период составила 366 мм (71 % расходной части водного баланса). Испарение за холодный период составляет всего 3 % годовой суммы. При анализе изменения этой составляющей водного баланса во времени прослеживается слабая тенденция роста за рассматриваемый период.

Значительной изменчивостью (от 69 до 226 мм) во времени характеризуется *руслевой сток*. Средняя величина *русового стока* составляет 125 мм, что составляет 24 % расходной части баланса. Изменения годовых величин *русового стока* в значительной степени соответствуют изменениям годовых осадков.

Анализ результатов расчета *изменения влагозапасов* за период наблюдений свидетельствует о значительных колебаниях этой составляющей водного баланса в многолетнем разрезе (от -92 до +78 мм), средняя многолетняя величина *влагозапасов* за рассматриваемый период равна 0.6 мм.

Динамика элементов водного баланса водосбора р. Васюган – с. Майск. Диапазон изменения *осадков* от 449 до 699 мм, средняя величина равна 541 мм. В теплый период года в среднем выпадает 401 мм (81 % годовой суммы), в холодный – 140 мм (19 %). В ходе изменения осадков во времени прослеживается слабая тенденция роста осадков за рассматриваемый период.

Величина *испарения* с болота (основная расходная часть баланса) колеблется в пределах от 331 до 405 мм. Средняя величина испарения за исследуемый период равна 372 мм, что составляет 69 % расходной части водного баланса. Испарение за холодный период составляет всего 1 % годовой суммы. При анализе изменения этой составляющей водного баланса во времени прослеживается слабая тенденция роста за рассматриваемый период.

Значительной изменчивостью (от 58 до 230 мм) во времени характеризуется *руслевой сток*. Средняя величина *русового стока* составляет 123 мм или 23 % расходной части баланса. Изменения годовых

величин *русового стока* в значительной степени соответствуют изменениям годовых осадков.

Динамика *влагозапасов* свидетельствует о значительных колебаниях этой составляющей водного баланса в многолетнем разрезе (от -60 до +96 мм), средняя многолетняя величина за рассматриваемый период равна 15 мм.

Испарение с водосборов является наименее вариабельной величиной ($C_v = 0.06-0.1$),кратно превышающей сток (табл. 2). Доля испарения в расходной части водного баланса уменьшается в направлении на север, о чем можно судить по коэффициенту испарения. Для м/с Бакчар интервал его значений составляет 0.71–0.92, а у м/с Майск – 0.62–0.80 мм.

Таблица 2
Статистические характеристики элементов водного баланса

Гидроклиматическая характеристика, мм	Среднее, мм	σ^*	C_v	C_s
Метеостанция Бакчар				
Атмосферные осадки	476	67.1	0.17	0.35
Суммарное испарение	386	34.5	0.11	0.23
Сток (р. Икса – с. Плотниково)	84	65.0	0.77	1.54
Метеостанция Пудино				
Атмосферные осадки	517	77.4	0.15	0.29
Суммарное испарение	366	28.5	0.08	0.16
Сток (р. Чузик – с. Пудино)	125	47.0	0.38	0.75
Метеостанция Майск				
Атмосферные осадки	541	96.6	0.18	0.35
Суммарное испарение	372	24.9	0.06	0.13
Сток (р. Васюган – с. Майск)	123	56.2	0.45	0.91

Примечание: * σ – среднее квадратическое отклонение, C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии. Водность года определялась по обеспеченности стока.

Между коэффициентами стока и испарения существует связь, достаточная для получения регрессионной зависимости: у р. Чузик – с. Пудино (коэффициент детерминации $R^2 = 0.68$) и р. Васюган – с. Майск ($R^2 = 0.59$) (рис. 1). Испарение является самой большой величиной расходной части водного баланса, составляя 60–92 % осадков.

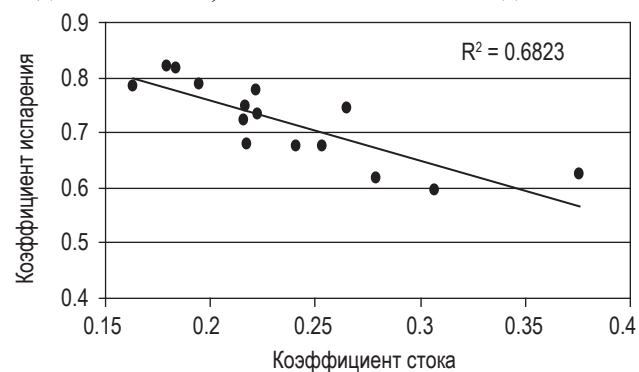


Рис. 1. Зависимость между коэффициентами стока и испарения

Однако, как видно из рис. 2, испарение мало зависит от водности года, т. е. лимитирующим фактором для него является теплообеспеченность. Испаряется такое количества влаги, на которое хватает тепловых ресурсов данной климатической зоны. Вариации же сумм температур за теплый период по всем метеостанциям исключительно

малы: для Бакчара и Майска коэффициент вариации суммы положительных средних месячных температур составляет 0.07, для метеостанции Пудино – $c_v = 0.09$. Хронологические графики сумм средних месячных температур за теплый период представляют собой слабо варьирующий стационарный процесс.

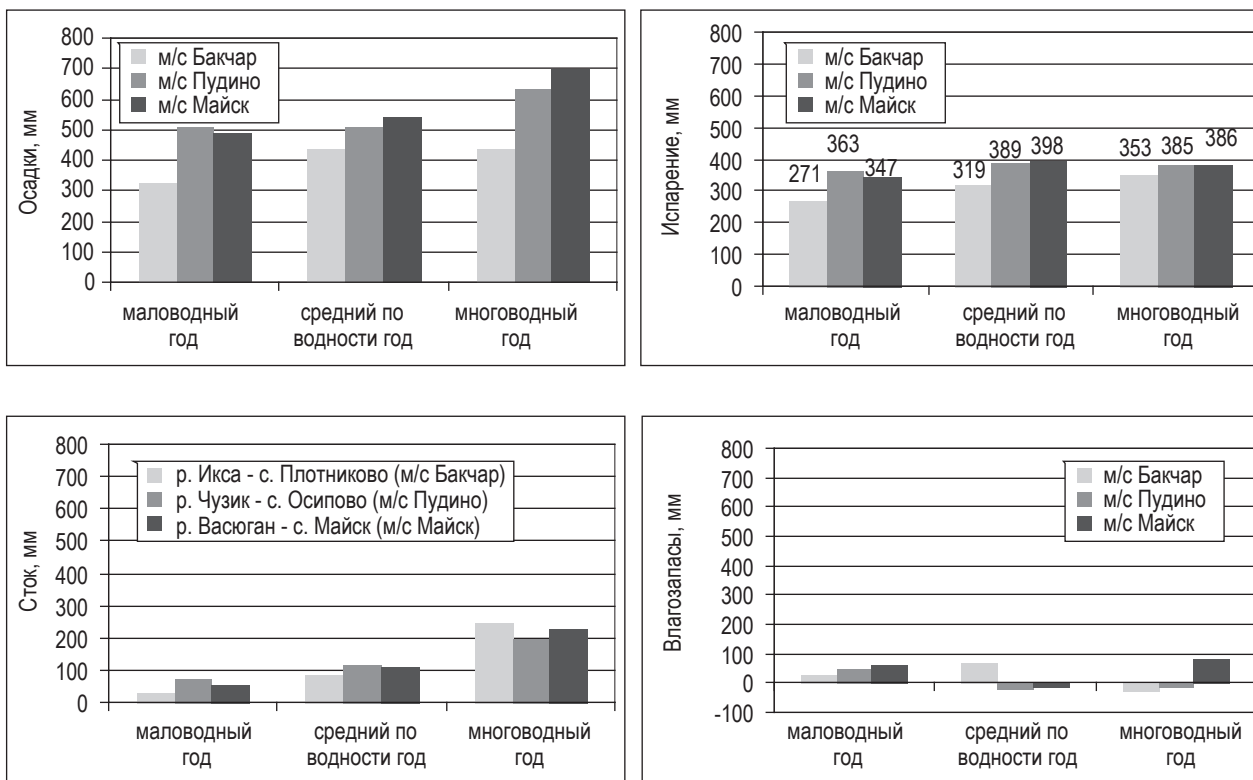


Рис. 2. Динамика элементов водного баланса в зависимости от водности года

Межгодовые вариации осадков при мало изменяющемся испарении отражаются в значительной мере на стоке и существенно меньше на изменении влагозапасов речного бассейна. Объективно наблюдаются незначимые тенденции к возрастанию в хронологических графиках элементов водного баланса всех водосборов за исключением метеостанции Бакчар, у которой зафиксирован значимый рост осадков за холодный период (на уровне значимости 0.05 по методам Аббэ и ранговых коэффициентов).

Анализ пространственного распределения коэффициентов испарения и стока в сопоставлении с за-

болоченностью не позволил выявить зависимость гидроклиматических изменений от заболоченности.

Таким образом, в условиях сохранения роста осадков зимнего периода и неизменности теплообеспеченности за теплый период года следует ожидать роста увлажненности территории, так как потенциальные возможности увеличения речного стока ограничены слабой дренирующей способностью гидрографической сети [10]. Такой сценарий развития климатических трендов будет способствовать дальнейшему прогрессирующему заболачиванию этого района.

Список литературы

1. Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Пименов А. В., Седельникова Т. С. Индикация и типизация лесных биоценозопов Большого Васюганского болота // XVIII сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: мат-лы рос. конференции / под ред. М. В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2009.
2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Росгидромет. 2008. Т. 1.
3. Ипполитов И. И. и др. Пространственные и временные масштабы наблюдаемого потепления в Сибири // Докл. Академии наук. 2007. Т. 412. № 6.

4. Дюкарев Е. А., Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Логинов С. В. Изменение климата на азиатской территории России во второй половине XX столетия: сравнение данных наблюдения и реанализа // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 11.
5. Болота Западной Сибири – их роль в биосфере / под ред А. А. Земцова. Томск: Изд-во ТГУ, 1998.
6. Плиткин Г. А. Водный баланс Западной Сибири. Л.: Гидрометеиздат, 1976.
7. Мезенцев В. С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Омск: Изд-во СХИ, 1982.
8. Кураков С. А., Крутиков В. А., Ушаков В.Г. и др. Разработка автономной информационно-измерительной системы мониторинга климатических характеристик состояния окружающей среды // XVIII сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: мат-лы рос. конференции / под ред. М. В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2009.
9. Мезенцев В. С., Белоненко Г. В., Карнацевич И. В., Лоскутов В. В. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Омск: Изд-во СХИ, 1980.
10. Дубровская Л. И., Эйрих И. А. Расчет стока весеннего половодья с системы верховых олиготрофных болот методом склонового стекания // Вестн. Томского гос. пед. ун-та. 2009. Вып. 3 (81). С. 132–136.

Дубровская Л. И., кандидат физико-математических наук, доцент.

Томский государственный университет.

Пр. Ленина, 36, г. Томск, Томская область, Россия, 634050.

E-mail: dubrli@sibmail.com

Дроздова Д. В., магистр.

Томский государственный университет.

Пр. Ленина, 36, г. Томск, Томская область, Россия, 634050.

E-mail: dvdrozdova@yandex.ru

Кураков С. А., научный сотрудник.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

Пр. Академический, 10/3, г. Томск, Томская область, Россия, 634055.

E-mail: ksa@imces.ru

Материал поступил в редакцию 07.12.2010.

L. I. Dubrovskaya, D. V. Drozdova, S. A. Kurakov

ESTIMATION OF WATER BALANCE ELEMENTS AND THEIR TIMES DYNAMIC ON MARSHLAND WATERPOOL WITH BIG VASYUGAN MIRE

The presented results of the calculation water balance element for three represent water basin of big Vasyugan mires with a different degree of paludification on month interval for the period 1990–2009 years. There was analysed the perennial track records of the precipitation, evaporations and expenses of water, influence of the change the climate on hydrological marshes regimen. The correlations are estimated between elements of the water balances at different years.

Key words: *paludification water basin, hydra-climatic facility, evaporation, run off water and heat exchange, wood-marsh zone, West Siberia, hydrological regimes, time dynamic.*

Dubrovskaya L. I.

Tomsk State University.

Pr. Lenina, 36, Tomsk, Tomsk region, Russia, 634050.

E-mail: dubrli@sibmail.com

Drozдова D. V.

Tomsk State University.

Pr. Lenina, 36, Tomsk, Tomsk region, Russia, 634050.

E-mail: dvdrozdova@yandex.ru

Kurakov S. A.

Institute of the Monitoring Climatic and Ecological Systems.

Pr. Akademicheskiiy, 10/3, Tomsk, Tomsk region, Russia, 634055.

E-mail: ksa@imces.ru