

УДК 556.53, 551.58

Смахтин Виталий Константинович
Vitaliy Smakhtin



РОЛЬ ИСПАРЯЕМОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕК В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА НА ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬЯ

ROLE POTENTIAL OF EVAPORATION IN RIVER FLOW FORMATION DURING THE WARM SEASON IN TRANSBAIKALIE

Отмечено, что изменения климата, происходящие как в глобальном масштабе, так и на всей территории России, оказывают влияние на гидрологический режим рек Забайкалья. Здесь на сток рек летом значительное влияние оказывают атмосферные осадки. Важными факторами в формировании стока также являются испарение и испаряемость. Повышение среднегодовой температуры воздуха могло проявиться через изменение испаряемости и повлиять на сток в теплый период года, что стало причиной данного анализа.

В основу исследования положены материалы стандартных гидрометеорологических наблюдений на стационарной наблюдательной сети Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Данные по температуре и относительной влажности воздуха для расчета испаряемости взяты с 1951 по 2010 гг.

В работе использованы методы статистического анализа. Тренды вычислялись методом наименьших квадратов. Согласованность изменений исследуемых характеристик оценивалась с помощью корреляционного анализа. Цикличность выявлялась с помощью построения интегрально-разностных кривых, а также с помощью спектрального и вейвлет-анализа. Для оценки значимости спектральной плотности, рассчитанной по выборочным данным, использован критерий ϵ -квадрат. Оценка значимости трендов и коэффициентов корреляции выполнялась с использованием t -статистики Стьюдента при 5%-ном уровне значимости, спектральный анализ – с помощью программного пакета «Statistica». Для непрерывного вейвлет-преобразования использо-

Climate changes are happening globally and throughout Russia which influence on the hydrological regime of the rivers of Transbaikalie. Here the flow of rivers in the summer is strongly influenced by precipitation. Important factors in the formation of runoff are also evaporation and potential evaporation. Increasing of the average temperature could occur through a change in potential evaporation and affect on the flow during the warm season, which had led to this analysis.

The bases of this study are the materials of standard meteorological observations at a fixed observation network of Transbaikal Department on Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The data on temperature and relative humidity to calculate the potential evaporation were taken from 1951 to 2010.

We used the methods of statistical analysis. Trends were calculated by the method of least squares. Consistency changes studied characteristics were assessed by the use of correlation analysis. Cyclicity was detected by constructing integral-difference curves, and with the help of spectral and wavelet analysis. To assess the significance of the spectral density calculated from the sample data, the criterion ϵ -square was used. Assessment of trends and correlation coefficients significance was performed by using Student's t -statistic at the 5 % significance level. Spectral analysis in this article was carried out by using the software package «Statistica». For continuous wavelet transform Morlet wavelet was used. The analysis was performed by using the software package «Matlab».

The conclusions that the long-term fluctuations are characterized by cyclical potential evaporation and have poor correlation within the basin are made. Trends in

вался вейвлет Морле. Анализ осуществлялся с помощью программного пакета «Matlab».

Сделаны выводы о том, что многолетние колебания испаряемости характеризуются цикличностью и имеют слабую согласованность внутри бассейнов. Тренды многолетних изменений испаряемости на территории Забайкалья положительны и достоверны. Испаряемость оказывает влияние на формирование стока рек в теплый период года (май-сентябрь)

Ключевые слова: испаряемость, изменение климата, Забайкалье, сток рек, цикличность, тренд

long-term changes in the potential evaporation of the Transbaikalian region are positive and significant. Potential evaporation affects the formation of river flow during the warm season (May-September)

Key words: potential evaporation, climate change, Transbaikalia, river flow, cyclical, trend

Изменения климата, происходящие как в глобальном масштабе, так и на всей территории России [6], оказывают влияние на гидрологический режим рек Забайкалья [4, 10]. Здесь на сток рек летом значительное влияние оказывают атмосферные осадки [5, 9]. Важными факторами в формировании стока являются испарение [1, 2] и испаряемость [3]. Повышение среднегодовой температуры воздуха могло проявиться через изменение испаряемости и повлиять на сток в теплый период года, что стало причиной данного анализа.

Цель работы: определить влияние испаряемости на сток рек в теплый период года.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- выявить характер изменения испаряемости на территории Забайкалья;
- оценить изменение испаряемости и определить достоверность трендов;
- оценить влияние испаряемости на сток рек в теплый период года (май-сентябрь).

В основу исследования положены материалы стандартных гидрометеорологических наблюдений на стационарной наблюдательной сети Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Данные по температуре и относительной влажности воздуха для расчета испаряемости взяты с 1951 по 2010 гг.

Выполнен анализ испаряемости, которая вычислена по формуле Н.Н. Иванова [7]:

$$E_0 = 0,0018(25+t)2(100-f), \quad (1)$$

где E_0 – испаряемость, мм;

t – средняя месячная температура воздуха, °C;

f – средняя месячная относительная влажность воздуха, %.

В работе использованы методы статистического анализа. Тренды вычислялись методом наименьших квадратов. Согласованность изменений исследуемых характеристик оценивалась с помощью корреляционного анализа. Цикличность выявлялась с помощью построения интегрально-разностных кривых, спектрального и вейвлет-анализа. Для оценки значимости спектральной плотности, рассчитанной по выборочным данным, использован критерий с-квадрат. Оценка значимости трендов и коэффициентов корреляции выполнялась с использованием t-статистики Стьюдента при 5 %-ном уровне значимости [8]. Спектральный анализ выполнялся с помощью программного пакета «Statistica». Для непрерывного вейвлет-преобразования использовался вейвлет Морле. Анализ осуществлялся с помощью программного пакета «Matlab».

Методы, используемые в работе, отвечают современным достижениям науки. Для оценки климатических и гидрологических характеристик отечественными и зарубежными авторами спектральный [8] и вейвлет-анализ [11] используется сравнительно недавно, а для оценки испаряемости для территории Забайкалья такой анализ

сделан впервые. Требованиям современных достижений техники отвечают программные пакеты Statistica версии 2010 г. и Matlab 2013 г.

При оценке испаряемости определено, что в рядах ее изменения за многолетний период в бассейнах Лены и Енисея согласованность проявляется слабо. В Амурском бассейне ряды изменения испаряемости более согласованы. Средний коэффициент корреляции между рядами изменения испаряемости составил по бассейну: Амура – 0,56, Енисея – 0,32, Лены – 0,28.

Колебания осредненных рядов испаряемости характеризуются цикличностью. С 1951 до 1974 гг. отмечается фаза низких значений. С 1975 по 1981 гг. – фаза повышенных значений испаряемости. С 1982 по 1998 гг. – фаза низких значений.

С 1999 г. началась фаза повышенных значений.

Спектральный анализ ряда изменения средней по Амурскому бассейну испаряемости выявил значимые 25 и 10-летние колебания с вероятностью 90 %, а также не значимые 3-летние колебания. По Енисейскому бассейну спектральный анализ показал значимые 25-летние колебания при 95 % и не значимые 3-летние колебания. По Ленскому бассейну выявлены значимые 25-летние колебания при 95 % и 10-летние колебания при 90 %, а также 4, 6-летние не значимые колебания.

Вейвлет-анализ изменения средних по Забайкалью аномалий испаряемости (рис. 1) выявил с 1970 по 2010 гг. наличие 11-12-летних циклов, а также более мелких циклов с периодом колебания 5 лет.

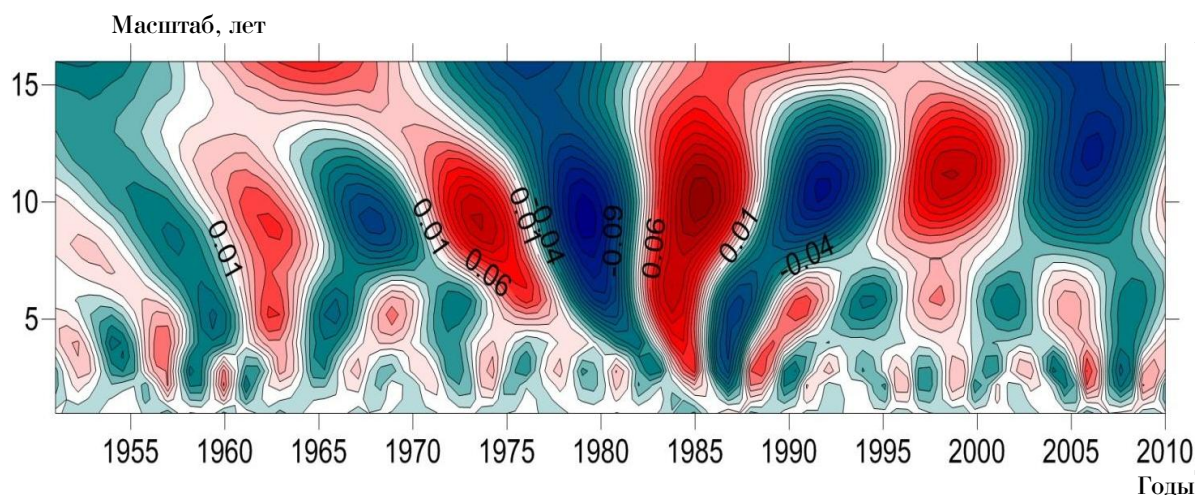


Рис. 1. Вейвлет-спектр ряда изменения осредненных по Забайкалью аномалий испаряемости

Из 38 рядов изменения испаряемости 32 имеют положительный тренд. Ряды с отрицательным трендом не являются достоверными при 5 %-ном уровне значимости. Всего достоверными являются 70 % трендов. За период с 1951 по 2010 гг. испаряемость увеличилась по бассейну Амура на 78 мм, Енисея – 37 мм, Лены – 42 мм. Данные тренды являются достоверными.

В ходе анализа рядов температуры воздуха, атмосферных осадков и испаряемости определено, что температура и ис-

паряемость согласуются слабо. Средний коэффициент корреляции по пунктам Забайкалья равен 0,25. Однако коэффициент корреляции между рядами осредненных значений температуры воздуха и испаряемости равен 0,38. Атмосферные осадки с испаряемостью имеют более тесную, обратную связь, средний коэффициент корреляции по пунктам равен –0,43.

Для выявления зависимости изменения стока рек от испаряемости вычислены коэффициенты корреляции между рядами

средней испаряемости и рядами стока теплого периода года (май-сентябрь). Средний коэффициент корреляции по бассейну

Енисея в Забайкалье равен $-0,51$ за период с 1961 по 2008 гг. Его значения изменяются в пределах от $-0,16$ до $-0,72$ (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между рядами изменения испаряемости на метеостанции и рядами изменения стока рек теплого периода на гидрологическом посту в Енисейском бассейне за период 1961-2008 гг.

Метеостанция	Гидрологический пост	R
Улан-Удэ	р. Селенга – рзд. Мостовой	$-0,72$
Баргузин	р. Баргузин – пос. Баргузин	$-0,16$
Новоселенгинск	р. Селенга – с. Новоселенгинск	$-0,58$
Улан-Удэ	р. Уда – г. Улан-Удэ	$-0,58$
Новоселенгинск	р. Оронгой – Оронгойский мост	$-0,45$
Красный Чикой	р. Аса – с. Аца	$-0,54$
Петровский Завод	р. Хилок – с. Малета	$-0,67$
Красный Чикой	р. Чикой – с. Гремячка	$-0,60$
Улан-Удэ	р. Курба – с. Новая Курба	$-0,56$
Кабанск	р. Большая речка – ст. Посольская	$-0,39$
Баргузин	р. Баргузин – с. Могойто	$-0,24$
Петровский Завод	р. Хилок – г. Хилок	$-0,54$
Петровский Завод	р. Хилок – з. Хайластуй	$-0,71$
Кабанск	р. Мысовка - г. Бабушкин	$-0,29$
Красный Чикой	р. Чикой – с. Поворот	$-0,68$
Петровский Завод	р. Катанца – с. Хилкотой	$-0,48$
Кабанск	р. Большая Сухая – с. Сухая	$-0,43$
Улан-Удэ	р. Уда – с. Усь-Эгита	$-0,32$
Петровский Завод	р. Хилок – с. Малый Куналей	$-0,67$

За период с 1961 по 2009 гг. средний коэффициент корреляции составил по Амурскому бассейну $-0,56$ (табл. 2), по Ленскому – $-0,44$ (табл. 3). Наибольшие значения

коэффициентов корреляции в Амурском бассейне отмечаются на р. Онон, в Ленском бассейне – на реках Заза и Витим.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между рядами изменения испаряемости на метеостанции и рядами изменения стока рек теплого периода на гидрологическом посту в Амурском бассейне за период 1961-2009 гг.

Метеостанция	Гидрологический пост	R
Нерчинск	р. Нерча – г. Нерчинск	$-0,48$
Сретенск	р. Шилка – г. Сретенск	$-0,67$
Чита	р. Зун-Кука – ст. Яблонная	$-0,61$
Чита	р. Читинка (Чита) – г. Чита	$-0,41$
Чита	р. Никишка – с. Атамановка	$-0,39$

Метеостанция	Гидрологический пост	R
Сретенск	р. Куренга – с. Мироново	– 0,72
Чита	р. Ингода – с. Улеты	– 0,41
Мангут	р. Онон – с. Бытэв	– 0,74
Чита	р. Ингода – с. Атамановка	– 0,60
Агинское	р. Онон – с. Чирон	– 0,77
Нерчинск	р. Шилка – с. Усть-Онон	– 0,60
Агинское	р. Иля – с. Иля	– 0,61
Агинское	р. Ага – с. Агинское	– 0,64
Борзя	р. Борзя – г. Борзя	– 0,57
Кыра	р. Кыра – с. Кыра	– 0,52
Нерчинский Завод	р. Верхня Борзя – с. Бырка	– 0,45
Нерчинский Завод	р. Нижняя Борзя – с. Михайловка	– 0,52
Дарасун	р. Тура – с. Кумахта	– 0,34
Ксеньевская	р. Черная – с. Сбега	– 0,53
Сретенск	р. Унда – с. Шелопугино	– 0,62
Чита	р. Читинка (Чита) – с. Бургень	– 0,32
Борзя	р. Турга – с. Бырка	– 0,63
Мангут	р. Онон – с. Верхний Ульхун	– 0,67
Сретенск	р. Кия – с. Кокуй-Комогорцево	– 0,63
Александровский завод	р. Газимур – с. Александровский завод	– 0,58

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между рядами изменения испаряемости на метеостанции и рядами изменения стока рек теплого периода на гидрологическом посту в Ленском бассейне за период 1961-2009 гг.

Метеостанция	Гидрологический пост	R
Сосново-Озерское	р. Витим – с. Романовка	– 0,61
Чара	р. Чара – с. Чара	– 0,38
Тунгокочен	р. Каренга – с. Тунгокочен	– 0,41
Тунгокочен	р. Юмурчен – с. Юмурчен	– 0,33
Сосново-Озерское	р. Заза – с. Усть-Заза	– 0,71
Троицкий прииск	р. Чина – с. Троицкий прииск	– 0,17

Согласованность стока рек и испаряемости (рис. 2) можно посмотреть по совмещенным графикам интегрально-разностных кривых изменения испаряемости и модуля стока рек в теплый период года на территории Забайкалья. В годы с повышен-

ными значениями водности соответствуют пониженные значения испаряемости и наоборот. Следовательно, испаряемость оказывает влияние на сток теплого периода года и эта зависимость обратная.

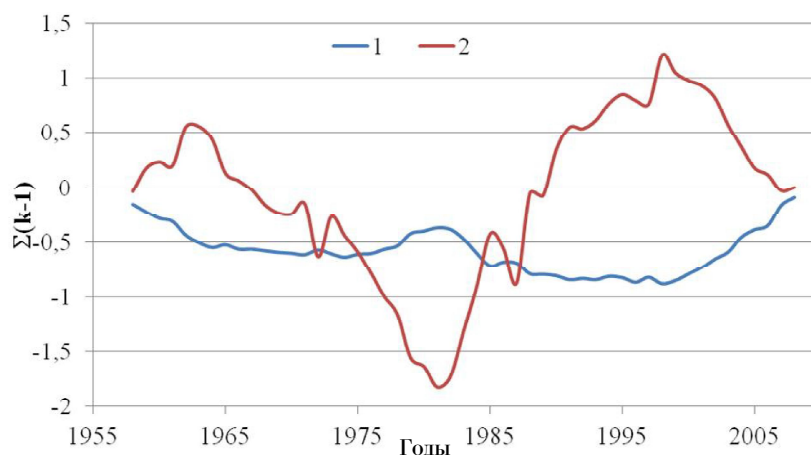


Рис. 2. Интегрально-разностные кривые изменения испаряемости (1) и модуля стока рек в теплый период года (2)

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- многолетние колебания испаряемости характеризуются цикличностью и имеют слабую согласованность внутри бассейнов;

- тренды многолетних изменений испаряемости на территории Забайкалья положительны и достоверны;

- испаряемость оказывает влияние на формирование стока рек в теплый период года (май-сентябрь).

Литература

1. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Изменения ресурсов пресных природных вод в горных районах криолитозоны при глобальном потеплении климата (на примере северо-востока России) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1-6. С. 1408-1412.

2. Калинин В.М., Варнина Т.В. Влияние изменения климата на многолетний ход составляющих водного баланса малого водосбора // Вестник Тюменского государственного университета. 2006. № 3. С. 80-88.

3. Напрасникова В.Т. Качественный анализ испаряемости и ее определение // Климат и гидрография Забайкалья. Записки Забайкальского филиала географического общества СССР. Вып. LXXXVI. Чита, 1972. С. 53-55.

4. Обызов В.А., Смахтин В.К. Гидрологический режим рек бассейна реки Аргунь // Тр. II Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии». Барнаул, Т. 1. 2014. С. 210-216.

5. Обызов В.А., Смахтин В.К. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России. Екатеринбург, 2012. С. 63-72.

References

1. Glotov V.E., Glotova L.P. *Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* (Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences), 2011, vol. 13, no. 1-6, pp. 1408-1412.

2. Kalinin V.M., Varnina T.V. *Vestnik Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Tyumen State University), 2006, no. 3, pp. 80-88.

3. Naprastnikova V.T. *Klimat i gidrografiya Zabaikaliya. Zapiski Zabaikalskogo filiala geograficheskogo obchestva SSSR* (Climate and hydrography of Transbaikalie. Notes of the Transbaikal branch of the Geographical Society of the USSR). Vip. LXXXVI. Chita, 1972. pp. 53-55.

4. Obyazov V.A., Smakhtin V.K. *Trudi II Vserossiskoi nauchnoy konferentsii s megdunarodnim uchastiem «Vodnie i ekologicheskie problemi Sibiri i Tsentralnoy Azii»* (Coll. Art. of the All-Russian scientific. conf. with int. participation «Water and environmental problems in Siberia and Central Asia»). Barnaul, vol. 1, 2014, pp. 210-216.

5. Obyazov V.A., Smakhtin V.K. *Mноголетний режим стока рек Zabaikaliya: analiz i fonoviy prognos* [Long-term regime of river flow in Zabaikaliye: Analysis and forecast background]: Water Management Russia. Ekaterinburg, 2012. pp. 63-72.

6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. М.: ГУ «НИЦ Планета», 2008. С. 31-80.

7. Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., Важнова Н.А. Агроклиматические ресурсы Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 2. С. 120-126.

8. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. 279 с.

9. Смахтин В.К. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек Забайкалья в теплый период года // Мат-лы XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов». Чита: ЗабГУ, 2013. С. 132-133.

10. Смахтин В.К., Обязов В.А. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек бассейна реки Онон // Мат-лы науч. конф. «Эволюция биогеохимических систем (факторы, процессы, закономерности) и проблемы природопользования» и симпозиума «Геоэкологические, экономические и социальные проблемы природопользования». Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2011. С. 195-197.

11. Newland D.E. An introduction to random vibrations spectral and wavelet analysis. Mineola, New York: Dover Publications, 2005. 477 p.

6. *Otsenochniy doklad ob izmeneniah klimata i ih posledstviakh na territorii Rossiyskoi Federatsii* [Assessment Report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Vol. 1. Climate change. Moscow: GU «NIC Planeta», 2008, pp. 31-80.

7. Perevedentsev U.P., Sharipova R.B., Vagnova N.A. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* (Bulletin of Udmurt University), 2012, vyp. 2, pp. 120-126.

8. Sikan A.V. *Metodi statisticheskoi obrabotki gidrometeorologicheskoy informatsii* (The statistical treatment of hydrometeorological information). St.-Petersburg: Izd. RGGMU, 2007. 279 p.

9. Smakhtin V.K. *Materiali XIII Megdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kulaginskie chtenia: tehnika i tehnologii proizvodstvennih protsessov»* (Materials of the XIII International conference. scientific and practical. conf. «Kulagin readings: technology and engineering process»). Chita: ZabGU, 2013. Pp. 132-133.

10. Smakhtin V.K., Obyazov V.A. *Materialy nauchnoy konferentsii «Evolutsia biogeohimicheskikh sistem (faktori, protsessi, zakonomernosti) i problemi prirodopolzovania» i simpoziuma «Geoekologicheskie, ekonomicheskie i sotsialnie problemi prirodopolzovania»* (Materials of scientific. conf. «Evolution of biogeochemical systems (factors, processes, laws) and problems of nature» and the symposium «Geo-ecological, economic and social problems of nature»). Chita: Izd-vo ZabGGPU, 2011. pp. 195-197.

11. Newland D.E. *An introduction to random vibrations spectral and wavelet analysis* [An introduction to random vibrations spectral and wavelet analysis]. Mineola, New York: Dover Publications, 2005. 477 p.

Коротко об авторе

Смахтин В.К., мл. науч. сотрудник лаборатории региональной климатологии, ИПРЭК СО РАН, г. Чита, Россия
cvk89@mail.ru

Briefly about the author

V. Smakhtin, junior researcher, Laboratory of Regional Climatology, INREC SB RAS, Chita, Russia

Научные интересы: климатология, гидрология

Scientific interests: climatology, hydrology

