

УДК 556.5

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-12-23-31

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

### CLIMATIC CONDITIONS FOR FORMATION OF WATER RESOURCES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

*В. С. Надточий, Сибирский государственный университет  
путей сообщения, г. Новосибирск  
s\_victory@list.ru*

*V. Nadtochy, Siberian State University of Transport, Novosibirsk*



Отмечено, что водные ресурсы любой территории образуются в результате взаимодействия различных физико-географических факторов, главными из которых являются циркуляция атмосферы и радиационный режим. Рассмотрены климатические условия, а именно пространственное распределение и временная изменчивость радиационных характеристик на территории юга Западной Сибири. Показано, что в территориальном распределении радиационных характеристик, формирующих энергетическую базу всех природных процессов, в т. ч. и процесса влаго- и теплообмена участка суши, определяющая роль принадлежит географической широте местности. Установлено, что радиационный режим территории определяет специфику температурного режима приземных слоев атмосферы. Показано территориальное распределение годовых сумм атмосферных осадков, где также прослеживаются широтный характер и зависимость от географической широты местности. Выделены особенности формирования снежного покрова и влагозапасов в снеге, что, в свою очередь, имеет непосредственное влияние на условия формирования водных ресурсов исследуемой территории – юга Западной Сибири

*Ключевые слова:* климатические условия; водные ресурсы; радиационный режим; циркуляция атмосферы; влагообмен; теплообмен; географическая широта местности; атмосферные осадки; влагозапасы; гигрометрическая напряженность

It is noted, that the water resources of any territory are the realization of the interaction between different physical-geographical factors, the main of which are the circulation of atmosphere and radiation regime. In this paper, we consider the climatic conditions, namely the spatial distribution and temporal variability of radiation characteristics in the South of Western Siberia. It is shown that in the territorial distribution of radiation characteristics, which form the energy base of all natural processes, including the process of moisture and heat exchange of land, the determining role belongs to the geographical latitude. The peculiarities of the radiation regime of the territory determine the specificity of temperature regime of the surface layers of the atmosphere. The territorial distribution of the annual amounts of atmospheric precipitation, where the latitudinal character and dependence on geographic latitude are traced, is also shown. The features of snow cover formation and snow moisture resources are singled out, which in turn have a direct impact on the conditions of water resources formation of the studied area – the South of Western Siberia

*Key words:* climatic conditions; water resources; radiation regime; atmospheric circulation; moisture exchange; heat exchange; geographic latitude; atmospheric precipitation; moisture reserves; hygrometric tension

**Введение.** Водные ресурсы, как и водно-экологические условия любой территории, являются реализацией взаимодействия различных физико-географических факторов, главными из которых являются климат, рельеф, геологическое строение, почвенный и растительный покров территории. В сложном взаимодействии названных факторов в формировании водных ресурсов особая роль принадлежит климатическим особенностям [1; 12].

Основные климатические особенности рассматриваемой территории – юга Западной Сибири – определяются ее внутриконтинентальным (почти в центре Евразии) положением. Естественным барьером на пути переноса воздушных масс с запада служит Уральский хребет, с востока – возвышенное Средне-Сибирское плоскогорье. В отдельные периоды года над территорией наблюдается также и меридиональная форма циркуляции воздушных масс. Регулируют данный процесс возвышенные Северные Увалы и обрывистый низкогорный Казахский мелкосопочник.

Циркуляция атмосферы и радиационный режим в совокупности являются главными климатическими факторами формирования особенностей пространственной и временной изменчивости водных ресурсов исследуемой территории [2].

*Степень научной разработанности.* Пространственное распределение и временная изменчивость радиационных характеристик на территории Западной Сибири в целом и на исследуемой территории из-за малого количества пунктов наблюдений изучены недостаточно. В процессе проведения исследования большинство авторов опирались на материалы актинометрических наблюдений, выполненных как по изучаемому региону, так и по сопредельным территориям [7; 8; 10].

Основные закономерности географического распределения радиационных характеристик, исследованные при непосред-

ственном участии автора на основе анализа материалов многолетних наблюдений на 22 актинометрических станциях Западной Сибири и сопредельных территорий, изложены в работе [4]. Кроме того, учитывались выполненные за более чем 50-летний период разработки ряда ученых – географов, гидрологов и климатологов – по методике учета и оценке ресурсов тепла земной поверхности как энергетической базы всех физико-географических процессов, протекающих в экосистеме [3; 5; 12; 13; 14].

Численные значения характеристик радиационного режима в границах исследуемой территории (60,44...52,7 с. ш. и 60,45...85,92 в. д.) в средний год опубликованы в справочниках по климату, а также в научно-прикладных справочниках по климату. Стандартные метеовеличины, измеряемые на метеостанциях (суммы температур больше нуля и 10°, температуры июля) через уравнения связи, сопоставлялись с расчетными значениями величин теплоэнергетических ресурсов климата.

*Методика и результаты исследования.* Выполненные исследования показали (рис. 1), что изменения годовых сумм от географической широты местности  $\varphi$  суммарной  $Q$  и поглощенной  $B_k$  радиации, а также радиационного баланса  $R$  (МДж/м<sup>2</sup>) на исследуемой территории и в Западной Сибири в целом имеют одинаковые особенности и достоверно аппроксимируются уравнениями прямой

$$Y = b - a \cdot \varphi, \text{ МДж/м}^2, \quad (1)$$

где  $Y$  – радиационная характеристика;

$b$  и  $a$  – параметры регрессии;

$\varphi$  – географическая широта, град.

По графику видно (рис. 1), что каждая из исследованных характеристик радиационного режима линейно возрастает с севера на юг. В частности, годовые суммы поглощенной радиации составляют на севере исследуемой территории около 2200 и возрастают на крайнем юге до 3300 МДж/м<sup>2</sup>.

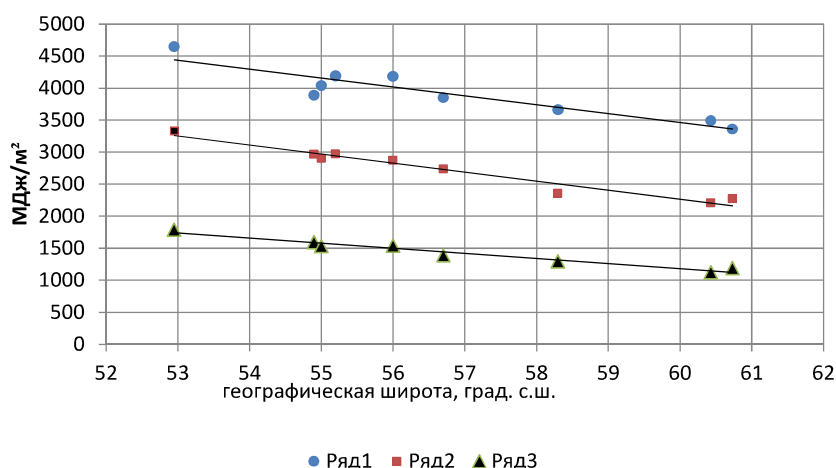


Рис. 1. Графики зависимости радиационных характеристик от географической широты (ряд 1 –  $Q$ , ряд 2 –  $B_k$ , ряд 3 –  $R$ ) / Fig. 1. Graphs of radiation characteristics dependence on geographical latitude (graph 1 –  $Q$ , graph 2 –  $B_k$ , graph 3 –  $R$ )

Значения параметров регрессии уравнения (1) приведены в таблице и подтверждают высокую достоверность уравнений (1).

**Значения параметров регрессии уравнения (1) / Values of regression parameters of equation (1)**

Характеристика / Characteristics	Параметр / Parameter		Коэффициент корреляции / Correlation coefficient
	$a$	$b$	
Суммарная радиация, $Q$ / Total radiation, $Q$	138,96	11801	0,925±0,03
Поглощенная радиация, $B_k$ / Absorbed radiation, $B_k$	140,93	10723	0,979±0,01
Радиационный баланс, $R$ / Radiation balance, $R$	79,253	5936	0,979±0,01

В годовом ходе радиационных характеристик максимум месячных значений поглощенной радиации ( $B_k$ ) и радиационного баланса  $R$  наблюдается в июне и июле соответственно – 465,1 и 320,0 МДж/м² на севере и 595,0 и 390,0 МДж/м² на юге исследуемой территории (рис. 2).

Радиационный баланс на исследуемой территории имеет двузначный годовой (и суточный) ход. В средний год переход (ориентировочно) радиационного баланса через ноль осенью происходит соответственно 14 октября на севере и 4 ноября на юге, а весной соответственно 19 марта и 28 февраля. В результате продолжительность периода с положительным радиационным балансом возрастает с севера на юг в среднем от 210 до 250 дней за год, что

и иллюстрируют приведенные графики (рис. 2).

Временная изменчивость годовых сумм радиационных характеристик относительно невелика, например, для радиационного баланса коэффициент вариации равен 0,06...0,10.

Следовательно, в территориальном распределении рассмотренных радиационных характеристик, формирующих энергетическую базу всех природных процессов, в т. ч. и процесса влаго- и теплообмена участка суши, определяющая роль принадлежит географической широте местности.

Особенности радиационного режима исследуемой территории определяют специфику температурного режима приземных слоев атмосферы.

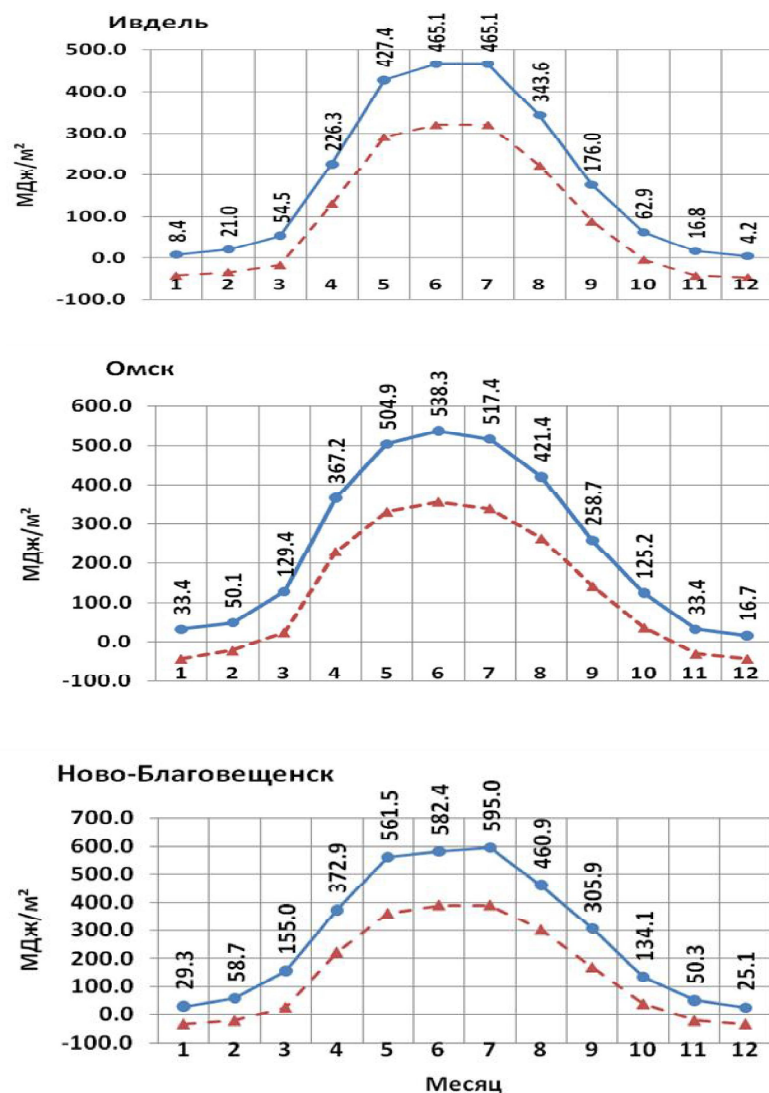


Рис. 2. Внутригодовое распределение поглощенной радиации (●) и радиационного баланса (▲) в средний год / Fig. 2. Intra-annual distribution of absorbed radiation (●) and radiation balance (▲) in the average year

Так, средняя многолетняя годовая температура воздуха на рассматриваемой территории возрастает от  $-1,5^{\circ}\text{C}$  на севере (Колпашево) до  $2,0^{\circ}\text{C}$  на юге (Рубцовск).

Атмосферные осадки являются основным приходным элементом водного баланса участка суши и речного бассейна [4; 6]. Величина и территориальное распределение атмосферных осадков на исследуемой территории определяются особенностями

циркуляции воздушных масс над Западной Сибирью и строением подстилающей поверхности.

В территориальном распределении годовых сумм атмосферных осадков (рис. 3) отчетливо обнаруживается широтный характер уменьшения годовых сумм с севера на юг от 567 (Тобольск) до 310 (Угловское) мм/год.



Рис. 3. Схема распределения годовых сумм атмосферных осадков, мм/год /  
 Fig. 3. Scheme of annual precipitation amounts distribution, mm/year

С запада на восток (в диапазоне от  $60^\circ$  до  $85^\circ$  в.д.) минимум годовых сумм атмосферных осадков (около 400 мм/год) на исследуемой территории приходится на  $73^\circ$  в.д. с последующим возрастанием до 700 мм/год на  $85^\circ$  в.д.

Распределение атмосферных осадков внутри года, при переходе из одной природной зоны в другую с максимумом в июле и минимумом в феврале, меняется незначительно.

Речной сток исследуемой территории имеет снеговой тип питания [1]. В связи с этим исследование пространственных и временных особенностей формирования снежного покрова и в особенности влагозапасов в снеге имеет как научное, так и практическое значение. Материалы стандартных снегомерных съемок на открытых (поле) и защищенных (лес) участках за многолетний период приведены в научно-прикладных справочниках по климату.

Как показали наши исследования, распределение на изучаемой территории дат перехода температуры воздуха через ноль осенью и образования устойчивого снежного покрова имеет отчетливый широтный

характер (рис. 4). На крайнем юге изучаемой территории ( $51,5^\circ$  с.ш.) дата образования устойчивого снежного покрова в средний год приходится на 10–14 ноября, а на крайнем севере ( $59^\circ$  с.ш.) – на 23–25 октября. Число дней со снежным покровом в средний многолетний год уменьшается с севера на юг от 173 (Тобольск) до 145 (Рубцовск) дней.

Средние влагозапасы в снеге на последний день декады зимнего периода, по данным снегосъемок, на открытых (поле) участках уменьшаются с севера на юг от 119 (Тобольск) до 53 мм (Рубцовск).

Выполненные исследования связи влагозапасов на открытых (поле) и защищенных (лес) участках показали, что во все декады зимнего периода высота снежного покрова и влагозапасы в снеге на защищенных участках повсеместно выше, чем на открытых [3]. При этом соотношение влагозапасов на защищенных и открытых участках ( $K_{\text{лн}} = W_{\text{лес}} / W_{\text{поле}}$ ) за декадные интервалы времени на изучаемой территории достоверно аппроксимируется уравнениями прямых с коэффициентами корреляции не ниже  $0,962 \pm 0,014$ .

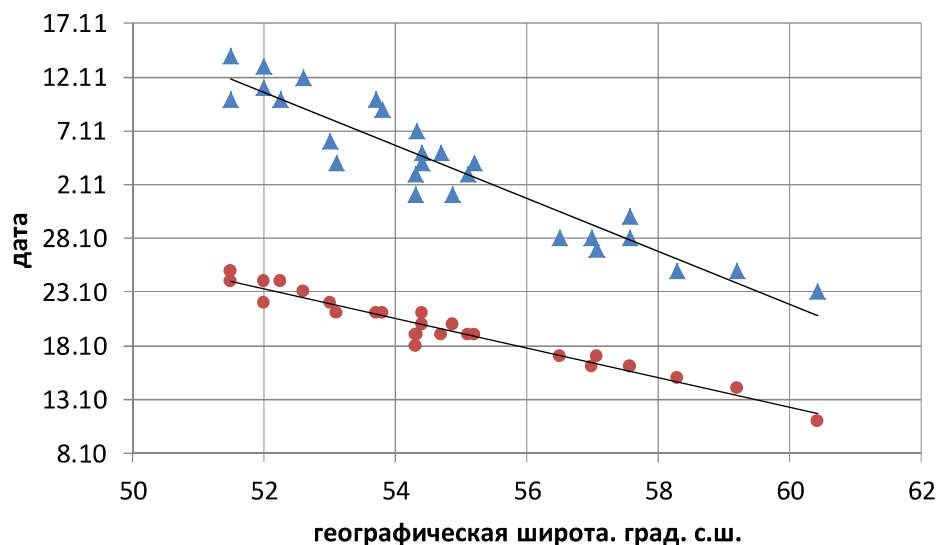


Рис. 4. Изменение дат перехода температуры воздуха через ноль (●) и образование устойчивого снежного покрова (▲) / Fig. 5. Change in dates of air temperature transition through zero (●) and formation of stable snow cover (▲)

Установлено, что территориальное распределение коэффициентов  $K_{mn}$  имеет те же особенности, что и распределение по терри-

тории средней за ноябрь – март скорости ветра  $U$  (м/с) (рис. 5).

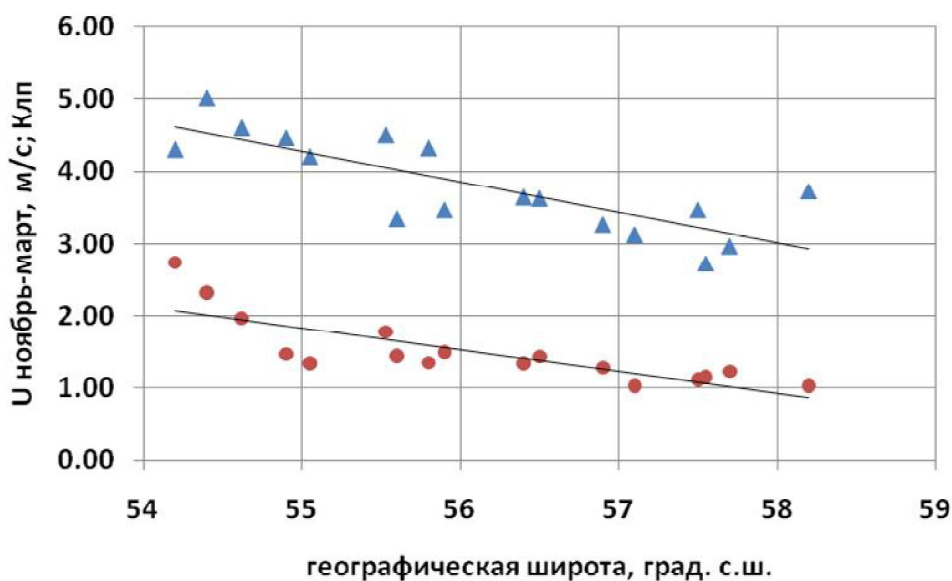


Рис. 5. Изменение средней скорости за ноябрь-март (▲) и коэффициента  $K_{mn}$  (●) / Fig. 5. Change in average speed for November-March (▲) and coefficient  $K_{mn}$  (●)

Кроме того, установлено, что численные значения  $K_{mn}$  обратно пропорциональны плотности снежного покрова на открытых участках  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>).

В результате анализа получено уравнение

$$K_{mn} = 1,52 \cdot U - 0,0182 \cdot \rho + 0,293, \quad (2)$$

в котором коэффициент корреляции составляет следующее значение:  $R = 0,928 \pm 0,03$ .

**Выводы.** Таким образом, на основании проведенных исследований, выполненных расчетов и анализа полученных результатов обоснованным представляется предположение о том, что меньшие влагозапасы в снеге на открытых участках (в среднем на 58,8 %) связаны с ветровым переносом (трансформацией) снежного покрова на открытых участках местности [3]. Это обстоятельство имеет решающее значение при воднобалансовых расчетах и прогнозах весеннего половодья [6; 11].

Известно, что влагозапасы в снеге на защищенном участке (поляна в лесу) в сумме с испарением снега в наибольшей степени отражают действительные значе-

ния суммы атмосферных осадков за зимний период. Выполненные нами сравнения влагозапасов в снеге на защищенных участках с суммами атмосферных осадков за ноябрь – март [9] показали, что последние, например, в южных лесостепных районах составляют не более 50...60 % соответствующих влагозапасов в снежном покрове на защищенных участках.

Средний годовой дефицит насыщения, характеризующий гигрометрическую напряженность приземных слоев атмосферы в исследуемом регионе, закономерно возрастает с севера на юг от 2,9 (Тобольск) до 5,0 гПа (Кулунда). Во внутригодовом ходе недостаток насыщения, как правило, максимален (6,9...12,4 гПа) в июне и минимален в декабре – январе (0,3...0,4 гПа).

## Список литературы

1. Белоненко Г. В., Тусупбеков Ж. А. Гидролого-климатические и эколого-географические условия формирования стока и режимы Западной Сибири // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Новосибирская государственная академия водного транспорта, 2014. № 4. С. 94–97.
2. Белоненко Г. В., Тусупбеков Ж. А. Зависимость суммарной радиации от прозрачности атмосферы на территории Западной Сибири // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды III Всерос. науч. конф. с междунар. участием: в 4 т. Барнаул, 2017. Т. 3. С. 22–25.
3. Белоненко Г. В., Тусупбеков Ж. А. Оценка ветрового переноса снега по данным метеонаблюдений в зоне влияния Транссибирской магистрали и федеральных автодорог юга Западной Сибири // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 1 (2). С. 131–134.
4. Белоненко Г. В., Попова Н. Б., Тусупбеков Ж. А. Солнечная радиация и ресурсы тепла, ресурсы влаги, соотношение ресурсов влаги и тепла и условий увлажнения в средний год // Эколого-географические условия транспортного освоения Западной Сибири. Новосибирск: СГУПС, 2012. С. 42–61.
5. Зиновьев А. Т., Галахов В. П., Кошелева Е. Д., Ловцкая О. В. Формирование поверхностного стока на юге Западной Сибири в условиях изменяющегося климата // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 25-летию юбилею ИВЭП СО РАН: в 3 т. Барнаул, 2012. Т. 1. С. 37–42.
6. Зиновьев А. Т., Кошелев К. Б., Галахов В. П. О результатах прогнозирования весеннего половодья в Верхней Оби в 2015 г. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 3. С. 58–68.
7. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству рек России [Электронный ресурс] // Центр регистра и кадастра. Режим доступа: <http://www.gis.vodinfo.ru> (дата обращения: 25.11.2017).
8. Кузин В. И., Платов Г. А., Лаптева Н. А. Оценка влияния межгодовой изменчивости стока Сибирских рек на циркуляцию Северного Ледовитого океана // Известия РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 4. С. 437–447.
9. Нагаева Е. В., Обязов В. А., Курганович К. А. Распределение модуля стока рек по территории Забайкальского края // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2014. № 10. С. 11–19.
10. Попова Н. Б., Белоненко Г. В. Эколого-географическая характеристика зоны влияния сухопутной транспортной системы Западной Сибири // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 1-2. С. 350–352.
11. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / отв. ред. Ю. И. Винокуров, А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 236 с.



12. Шаликовский А. В. Оценка влияния изменения климатических условий на закономерности формирования опасных гидрологических явлений в бассейне верхнего Амура // Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2014. С. 196–198.

13. Lavado C. W. S., Ronchail J., Labat D., Espinoza J. C., Guyot J. L. Basin-Scale Analysis of Rainfall and Runoff in Peru (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas Drainages // *Hydrological Sciences Journal*. 2012. No. 57. P. 625–642.

14. Valverde M. C., Marengo J. A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil // *Open Journal of Modern Hydrology*. 2014. No. 4. P. 10–26.

## References

---

1. Belonenko G. V., Tusupbekov Zh. A. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* (Scientific problems of transport in Siberia and the Far East). Novosibirsk: Novosibirsk State Academy of Water Transport, 2014, no. 4, pp. 94–97.

2. Belonenko G. V., Tusupbekov Zh. A. *Trudy III Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem «Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentralnoy Azii»* (Proceedings of the III All-Russian scientific conference with international participation «Water and environmental problems in Siberia and Central Asia»). Barnaul, 2017, vol. 3, pp. 22–25.

3. Belonenko G. V., Tusupbekov Zh. A. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* (Scientific problems of transport in Siberia and the Far East). 2014, no. 1 (2), pp. 131–134.

4. Belonenko G. V., Popova N. B., Tusupbekov Zh. A. *Ekologo-geograficheskie usloviya transportnogo osvoeniya Zapadnoy Sibiri* (Ecological and geographical conditions of transport development in Western Siberia). Novosibirsk: SGUPS, 2012. 266 p.

5. Zinoviev A. T., Galahov V. P., Koshelova E. D., Lovtskaya O. V. *Trudy vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashhennoy 25-letnemu yubileyu IVEP SO RAN «Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentralnoy Azii»* (Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation on the 25th anniversary of the IVEP SB RAS «Water and environmental problems in Siberia and Central Asia»). Barnaul, 2012, vol. 1, pp. 37–42.

6. Zinoviev A. T., Koshelev K. B., Galahov V. P. *Vodnoe hozyaystvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie* (Water economy of Russia: problems, technologies, management), 2016, no. 3, pp. 58–68.

7. *Tsentr registra i kadastra* (Center of register and cadastre). Available at: <http://www.gis.vodinfo.ru> (Date of access: 25.11.2017).

8. Kuzin V. I., Platov G. A. *Izvestiya RAN. Ser. Fizika atmosfery i okeana*. (News of RAS. Ser. Physics of atmosphere and ocean), 2015, vol. 51, no. 4, pp. 437–447.

9. Nagaeva E. V., Obyazov V. A., Kurganovich K. A. *Vestn. Zab. Gos. Univ.* (Transbaikal State University Journal), 2014, no. 10, pp. 11–19.

10. Popova N. B., Belonenko G. V. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* (Scientific problems of transport in Siberia and the Far East), 2014, no. 1-2, pp. 350–352.

11. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov i funktsionirovaniye vodohozyaystvennogo kompleksa basseyna Obi i Irtysha* (Modern state of water resources and functioning of aqua-cultural complex of pool of Ob and Irtysh) / red. Yu. I. Vinokurov, A. V. Puzanov, D. M. Bezmaternyh. Novosibirsk: SB RAS, 2012. 236 p.

12. Shalikovskiy A. V. *Regionalnye problemy vodopolzovaniya v izmenyayushhihsya klimaticheskikh usloviyah: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Regional problems of water use in changing climatic conditions: materials of the International scientific and practical conference). Ufa, 2014, pp. 196–198.

13. Lavado C. W. S., Ronchail J., Labat D., Espinoza J. C., Guyot J. L. *Hydrological Sciences Journal* (Hydrological Sciences Journal), 2012, no. 57, pp. 625–642.

14. Valverde M. C., Marengo J. A. *Open Journal of Modern Hydrology* (Open Journal of Modern Hydrology), 2014, no. 4, pp. 10–26.

## Коротко об авторе

## Briefly about the author

**Надточий Виктория Сергеевна**, аспирант, кафедра гидравлики, водоснабжения, водных ресурсов и экологии, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: гидрология, физико-географические водно-экологические условия формирования стока, рациональное использование водных ресурсов  
s\_victory@list.ru



**Viktoriya Nadtochy**, postgraduate, Hydraulics, Water Supply, Water Resources and Ecology Department, Siberian State University of Transport, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: hydrology, physico-geographical and water-ecological conditions for the formation of runoff, rational use of water resources

**Образец цитирования** \_\_\_\_\_

*Надточий В. С. Климатические условия формирования водных ресурсов юга Западной Сибири // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 12. С. 23–31. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-12-23-31.*

*Nadtochiy V. Climatic conditions for formation of water resources of the south of Western Siberia // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 12, pp. 23–31. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-12-23-31.*

Дата поступления статьи: 14.12.2017 г.  
Дата опубликования статьи: 25.12.2017 г.

