

УДК 556:551.5(282.256.164.6)

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА РЕКЕ ИШИМ

<sup>1</sup>Мезенцева О.В., <sup>1,2</sup>Волковская Н.П.

<sup>1</sup>*Омский государственный педагогический университет, Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*ФГБУ «Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Омск*

Климатические, ландшафтные и гидрологические особенности Западно-Сибирской равнины достаточно изучены. При этом актуально изучение происходящих изменений в отдельных водосборах рек из-за участвовавших в последние годы наводнений. Статья посвящена анализу изменений основных климатических факторов формирования максимального уровня воды реки Ишим по рядам ежегодных данных. Для анализа использовались гидрометеорологические данные за период 1936–2017 гг. Были выявлены тенденции изменения климатических факторов. Установлено, что повышение максимальных запасов воды в снежном покрове за период наблюдений с 1966 г. происходит на 1–9 мм за 10 лет, при снижении за период с 1991 по 2017 гг. осеннего увлажнения на 2–4 мм в лесостепной и на 20 мм за 10 лет в лесной зоне. Определено, что повышение суммы средней температуры воздуха за зимний период с 1966 по 2017 г. на 5–10% с замедлением повышения в современный период. Обнаружено значительное уменьшение глубины промерзания почвы на 9–17 см за 10 лет. Выявлено, что зарегулирование стока в верхнем и среднем течении реки значительно не повлияло на максимальные уровни реки на территории Тюменской области. В нижнем течении реки отмечается снижение отклонений от среднегодового значения максимальных уровней воды. Рассмотренные тенденции можно принять при коррекции и разработке новых методик прогнозирования максимальных уровней весеннего половодья р. Ишим по отдельным створам с учетом ландшафтных особенностей водосбора реки.

**Ключевые слова:** максимальные уровни воды, осадки, осеннее увлажнение водосбора, максимальный запас влаги в снежном покрове, прогноз уровней воды

## SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF HYDRO-CLIMATIC FACTORS OF FORMATION OF MAXIMUM WATER LEVELS ON THE ISHIM RIVER

<sup>1</sup>Mezentseva O.V., <sup>1,2</sup>Volkovskaya N.P.

<sup>1</sup>*Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*Ob-Irtysh Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Omsk*

The climatic, landscape and hydrological features of the West Siberian Plain have been sufficiently studied. At the same time, it is important to study the current changes in some watersheds of rivers because of floods that have become more frequent in recent years. The article is devoted to the analysis of changes in the main climatic factors for the formation of the maximum water level of the Ishim River according to the annual data series. Hydrometeorological data for the period 1936 – 2017 were used for the analysis. Tendencies of climatic factors change were revealed. It has been established that the increase in the maximum water reserves in the snow cover over the observation period since 1966 occurs by 1-9 mm over 10 years, with the autumnal humidification falling by 2-4 mm in the forest-steppe and by 20 mm for 10 years in the period from 1991 to 2017 years in the forest zone. It is determined that an increase in the average air temperature over the winter from 1966 to 2017 by 5-10% with a slowdown in the current period. A significant decrease in the depth of freezing of the soil by 9-17 cm over 10 years has been found. It was revealed that regulation of runoff in the upper and middle reaches of the river did not significantly affect the maximum river levels in the territory of the Tyumen region. In the lower course of the river there is a decrease in deviations from the mean annual values of the maximum water levels. The considered tendencies can be accepted at correction and development of new techniques for forecasting the maximum levels of spring high water Ishim within for individual sections, taking into account the landscape features of the catchment area of the river.

**Keywords:** maximum water levels, precipitation, the autumn moisture of the watershed, the maximum amount of moisture in snow cover, forecast of water levels

Наводнения причиняют значительный материальный ущерб. В 2017 г. на реке Ишим наблюдались максимальные уровни воды за период регулирования ее стока (1968–1970 гг.). На отдельных участках Ишима был превышен максимальный уровень за весь период инструментальных наблюдений. По высоте уровня этот год был близок к катастрофическому наводнению 1941 г., охватившему тогда территории

двух крупнейших бассейнов Сибири – Оби и Енисея [1]. В многоводные годы на реке Ишим уровень воды поднимается на 5–11 м. Каждый дополнительный метр подъема уровня в условиях плоского рельефа приводит к затоплению обширных территорий, к ухудшению естественного дренирования, к увеличению заболачивания.

Целью исследования является изучение пространственно-временной изменчивости

гидролого-климатических факторов формирования максимальных уровней воды на р. Ишим и их современных трендов.

### Материалы и методы исследования

На первом этапе исследования было рассмотрено влияние географической среды и воздействие антропогенной деятельности на водный объект, как основных геоэкологических факторов формирования параметров стока. На следующем этапе исследована пространственно-временная изменчивость климатических факторов (приземной температуры воздуха, атмосферных осадков, глубины промерзания почвы) за весь период регулярных инструментальных наблюдений. Исходными материалами для исследования динамики температуры воздуха, атмосферных осадков, снежного покрова, сезонного стока, максимального уровня воды в работе использовались данные Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России (Росгидромет) [2]. Для исследования были использованы методы комплексного гидролого-географического анализа; математические методы и программные средства обработки данных (Microsoft Excel, HidroStatistica, STATISTICA).

Значимость линейных трендов оценивалась по методике работы [3]. Проверка однородности рядов рассчитана при уровне значимости 5%.

### Результаты исследования и их обсуждение

Бассейн р. Ишим расположен частично в северной части Казахского мелкосопочника и южной части Западно-Сибирской равнины,

имеет грушевидную форму, в верхней части шириной около 700, средней – 300 и нижней – 150 км. Площадь его водосбора составляет 177000 км<sup>2</sup> (в пределах Российской Федерации – 59000 км<sup>2</sup>), а длина реки 2450 км (в пределах РФ – 667 км). Территории бессточных бассейнов, тяготеющих к реке, включены в площадь водосбора. Форма водосбора Ишима способствует равномерному притоку талой воды с водосбора в его нижней части и при дальнейшем транзите – наложению на местный сток в средней части.

Река Ишим зарегулирована водохранилищами в верхнем течении. С вводом в эксплуатацию Вячеславского и Сергеевского водохранилищ [4] в 1968–1970 гг. среднее многолетнее значение максимального за год уровня у г. Ишим и с. Викулово изменилось только на ±3–4%. При этом увеличилась вариация максимального уровня (коэффициент вариации увеличился с 0,54 до 0,60) у г. Ишим. У с. Викулово коэффициент вариации, напротив, незначительно уменьшился от 0,52 до 0,47. На рис. 1 показан многолетний ход максимальных уровней воды на р. Ишим в отклонениях от среднемноголетнего за зарегулированный период с 1968 по 2015 гг.

Наиболее влияющим на формирование максимальных уровней воды р. Ишим климатическим фактором является максимальный запас воды в снежном покрове, разрушение которого и вызывает основную фазу режима реки – весеннее половодье. Коэффициент корреляции максимальных уровней весеннего половодья и средних по бассейну запасов воды в снежном покрове достигает 0,54 в природной зоне степей, а также 0,42 – в лесостепной и лесной зоне.

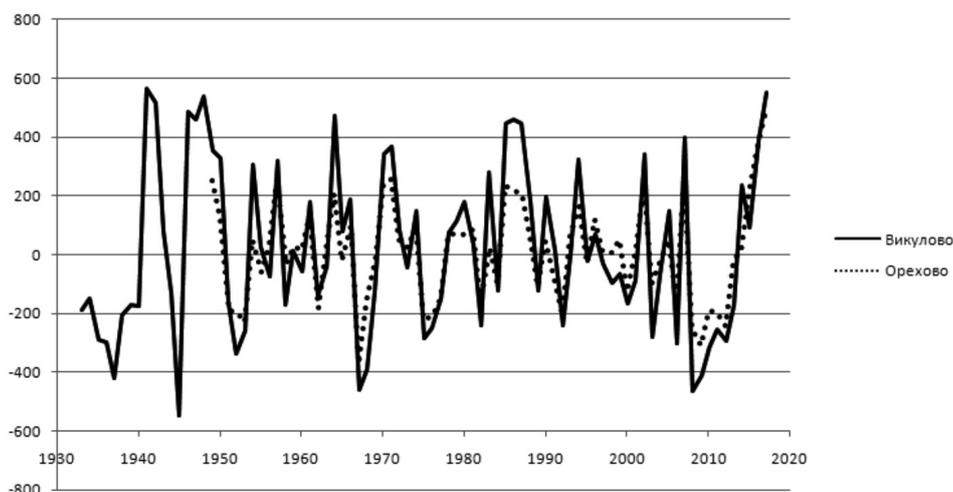


Рис. 1. Хронологический график максимальных уровней воды на р. Ишим в отклонениях от среднемноголетнего за период регулирования стока 1968–2017 гг.

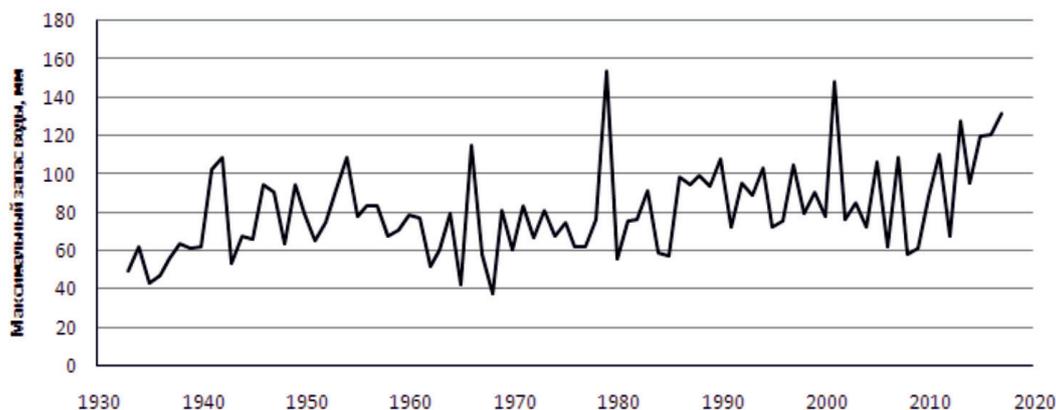


Рис. 2. Хронологический график осредненного по водосбору р. Ишим максимального запаса воды в снежном покрове

Максимальный запас воды в снежном покрове за период инструментальных наблюдений проанализирован по 7 постам водосбора Ишима: Ильинка, Ишим, Мергень, Стрехнино, Абатский, Викулово, Орехово. Анализ подтвердил значительные колебания максимального запаса воды в снеге по годам и показал общую тенденцию к увеличению. Осредненные данные о запасах воды на водосборе показаны на рис. 2.

Максимальный запас влаги в снежном покрове по территории изменяется от 80 мм в зоне лесостепей до 120 мм в лесной природной зоне (табл. 1) [5]. Отмечаются его значительные временные колебания по годам для всех природных зон. Так, если наименьшие значения максимального количества влаги по пунктам в бассейне Ишима наблюдаются от 28 до 59 мм, то максимальные значения варьируют от 130 мм в лесостепной зоне до 209 мм в лесной зоне. В среднем за 1991–2017 гг. в большинстве пунктов наблюдений прослеживается увеличение количества влаги в снежном покрове относительно предыдущего периода 1966–1990 гг.

Разброс значений стабильно максимального количества влаги в снеге высокий и в лесостепной и в лесной природных зонах коэффициент вариации достигает 0,22–0,34, в степной – 0,40. В последние десятилетия (1991–2017 гг.) отклонения от среднемноголетнего значения сокращаются в лесной зоне с 0,28 до 0,26 и увеличиваются в лесостепной зоне в среднем с 0,27 до 0,31. В большинстве пунктов наблюдений за период 1990–2017 гг. по отношению к периоду 1965–1989 гг. происходит рост среднемноголетнего запаса воды в снеге на 3–5%.

При анализе трендов среднемноголетнего запаса воды за период с 1966 по 2017 г. по данным метеопостов выявлено, что в многолетнем ходе максимальных запасов воды в снежном покрове незначительное увеличение с интенсивностью 1–6 мм за 10 лет отмечается во всех пунктах наблюдений всех природных зон. Изменение максимального запаса воды в снеге с 1991 по 2017 г. характеризуется положительным трендом во всех природных зонах с интенсивностью 1–9 мм за 10 лет. В целом значения максимальных запасов воды в снежном покрове с 1966 по 2017 г. слабо увеличились. В основном рост произошел в 90-х годах по всему бассейну р. Ишим.

Осадки выпавшие в сентябре и октябре, формируют осеннее увлажнение бассейна. Осеннее увлажнение изменяется от 68 мм в лесостепной зоне до 94 мм в лесной зоне. Минимальные значения сумм осадков за сентябрь и октябрь по пунктам в бассейне среднего и нижнего Ишима наблюдаются от 23 до 43 мм, максимальные же значения варьируются от 133 до 196 мм. В среднем за период 1991–2017 гг. прослеживается увеличение количества осенних осадков относительно предыдущего периода 1966–1990 гг. Севернее с. Ильинка произошел рост среднемноголетнего осеннего увлажнения за период 1991–2017 в среднем на 9–12% по отношению к среднему за период 1966–1990 гг.

Анализ трендов многолетнего хода осеннего увлажнения за период с 1966 по 2017 г. по данным метеопостов выявил, что незначительное его увеличение с интенсивностью 1–3 мм за 10 лет отмечается во всех природных зонах бассейна р. Ишим. Изменение осеннего увлажнения с 1991

по 2017 г. характеризуется отрицательным трендом в зоне лесостепи и у с. Викулово в лесной зоне с интенсивностью 2–4 мм за 10 лет, в лесной же зоне у с. Орехово интенсивность снижения более значительна и достигает 20 мм за 10 лет.

В целом значения максимальных запасов воды в осеннем увлажнении с 1966 по 2017 г. слабо увеличились. Выявлена общая тенденция к снижению осеннего увлажнения в период с 1991 по 2017 г. Отрицательный тренд осеннего увлажнения обнаружен в природных зонах нижнего Ишима.

*Средняя температура воздуха в зимний период* с ноября по март влияет на состояние поймы р. Ишим и водосбора, влияя на глубину промерзания почвы при небольшой высоте снежного покрова, изменяет условия стока в зимний и весенний период. Тенденции изменения температуры воздуха исследованы по пунктам с наиболее продолжительными рядами наблюдений – у г. Ишим в лесостепной природной зоне и

у с. Викулово в лесной зоне. Средняя температура воздуха в зимний период в бассейне Ишима в период с 1936 по 2017 г. изменялась от –11,8 °С до –14,2 °С (табл. 2).

Минимальные значения зимней температуры для пунктов в бассейне среднего и нижнего Ишима варьируют по территории от –21,2 °С до –16,0 °С, максимальные же значения варьируют от –9,7 °С до –7,5 °С. В среднем в зонах лесостепи и степи в пределах бассейна прослеживается повышение температуры за период 1991–2017 гг. относительно предыдущего периода 1966–1990 гг. Отмечается повышение средних и экстремальных температур в лесостепной зоне.

Разброс значений средней температуры воздуха год от года невысокий, в лесостепной и в лесной природных зонах коэффициент вариации составляет 0,14–0,24. В период 1991–2017 гг. в лесостепной и лесной зоне в пределах бассейна р. Ишим отмечается снижение отклонений от среднегого-летних значений.

**Таблица 1**

Статистические характеристики максимального запаса воды в снежном покрове (мм) для отдельных пунктов наблюдений по природным зонам

Период	Средний за период	Максимум	Минимум	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации
Зона лесостепи					
г. Ишим					
1936–1965	82	132	28	30	0,37
1966–1990	88	146	44	25	0,28
1991–2017	93	160	46	28	0,30
Зона лесная (подзона подтайги)					
с. Орехово					
1966–1990	116	209	58	31	0,27
1991–2017	120	200	59	31	0,26

**Таблица 2**

Статистические характеристики средней температуры воздуха (°С) для отдельных пунктов метеонаблюдений

Период	Средний за период	Минимум	Максимум	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации
Зона лесостепи					
г. Ишим					
1936–1965	–14,2	–18,8	–9,5	2,0	0,14
1966–1990	–13,4	–21,2	–8,3	2,6	0,19
1991–2017	–12,1	–16,2	–8,0	2,1	0,17
Зона лесная (подзона подтайги)					
с. Викулово					
1937–1965	–13,7	–18,2	–9,7	2,0	0,15
1966–1990	–12,4	–21,2	–7,5	3,0	0,24
1991–2017	–11,8	–16,0	–8,1	2,0	0,17

Анализ наличия статистически достоверных линейных трендов по рядам наблюдений за средней температурой воздуха в зимний период с 1966 по 2017 г. по постам в бассейне среднего и нижнего Ишима выявил, что в многолетнем ходе температуры воздуха в зимний период отмечается положительный тренд с интенсивностью 0,26–0,56 °C за 10 лет. Межгодовая изменчивость температуры воздуха в зимний период с 1991 по 2017 г. характеризуется стабилизацией тренда с повышением температуры в лесостепной и лесной зонах с интенсивностью всего 0,08–0,12 °C за 10 лет.

В целом значения температуры воздуха в зимний период с 1966 по 2017 г. увеличились на 5–10%. Выявлена общая тенденция к замедлению повышения температуры в период с 1991 г. по 2017 г. Анализ однородности рядов ежегодных температур воздуха в зимний период по критериям Стьюдента и Фишера показал достоверность трендов и выявил статистически неоднородные ряды наблюдений. Что подтверждает значительные изменения зимней температуры воздуха на водосборе реки Ишим в современный период. Возможной причиной таких изменений является изменчивость атмосферной циркуляции [6].

Для бассейна р. Ишим характерно глубокое промерзание почвы в зимний период, которое может значительно влиять на высоту подъема уровней воды. При быстром снеготаянии в весенний период вода не просачивается в грунт, а стекает по замершей почве, быстро достигая русла реки и вызывая быстрый подъем уровня. Средняя глубина промерзания почвы в бассейне среднего и нижнего Ишима за период с 1966 по 2017 г. изменялась от 95 см в лесной зоне до 113 см в лесостепной зоне. Минимальные значения глубины промерзания почвы по пунктам наблюдались от 22 см в лесной до 58 см в лесостепной зоне, максимальные же значения варьируют от 144 см в лесостепной до 210 см в степной зоне.

При анализе результатов многолетних инструментальных наблюдений за период с 1966 по 2017 г. в бассейне среднего и нижнего Ишима выявлено уменьшение глубины промерзания почвы с различной интенсивностью: на севере бассейна в лесной природной зоне она уменьшалась в среднем на 9–15 см за 10 лет; а в лесостепной зоне глубина промерзания уменьшалась в среднем на 14–17 см за 10 лет. Тенденция к стабилизации глубины промерзания отмечается с 1980 г. В период

с 1980 по 2017 г. интенсивность положительного тренда в лесостепной природной зоне сократилась до 5–11 см за 10 лет, в лесной зоне у села Усть-Ишим до 5 см за 10 лет. Анализ выявил неоднородность рядов наблюдений глубины промерзания почвы. Исходя из этого можно весь ряд инструментальных наблюдений представить в виде двух временных отрезков: первый – с начала инструментальных наблюдений до 1979 г., второй – с 1980 г. по настоящее время. Такая же тенденция ранее выявлена и в бассейне среднего Иртыша [7].

### Заключение

В работе показано, что с вводом каскада водохранилищ в верхнем и среднем течении Ишима, максимальные уровни весеннего половодья в пределах территории РФ значительно не изменились. При этом в нижнем течении реки отмечается небольшое снижение отклонений от среднеемноголетних значений.

Выполненный анализ изменений пространственно-временной изменчивости факторов максимального стока показал наличие значительной вариации год от года климатических факторов, влияющих на максимальные уровни р. Ишим. Доказано существование тенденций повышения максимальных запасов воды в снежном покрове за период с 1991 по 2017 г., снижения осеннего увлажнения в лесной зоне (подтайга), повышения суммы средней температуры воздуха за зимний период с 1936 г. по 2017 г., значительного уменьшения глубины промерзания почвы.

Рассмотренные тенденции возможно принять при коррекции и разработке новых методик прогнозирования максимальных уровней весеннего половодья р. Ишим в пределах Тюменской области. Тем самым в дальнейшем обеспечивается возможность повышения качества гидрологических прогнозов по отдельным створам с учетом ландшафтных особенностей водосбора реки.

### Список литературы

1. Бураков Д.А. Наводнения в бассейнах Сибири / Д.А. Бураков, Ю.В. Авдеева, В.Ф. Космакова // Сборник трудов СибНИГМИ, вып. 105 «Гидрометеорология Сибири», 2006. – С. 83–102. URL: [http://sibnigmi.ru/documents/papers\\_v105.pdf](http://sibnigmi.ru/documents/papers_v105.pdf) (дата обращения: 11.07.2018).
2. Метеорологический информационный сайт ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [Электронный ресурс]. – URL: <http://mete.ru/data> (дата обращения: 19.04.2018).
3. Метеорологические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб.: ГГИ, 2010. – 162 с. URL: <http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/gidro-6.pdf> (дата обращения: 11.05.2018).

4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Иртыш. – 2014. URL: <http://www.nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (дата обращения: 14.06.2018).

5. Волковская Н.П. Пространственно-временная изменчивость максимального запаса влаги в снежном покрове и глубины промерзания почвы и их влияние на минимальный сток реки Ишим // Современное научное знание: теория, методология, практика: сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Международный научно-информационный центр «Наукофера». – 2018. – Часть 1. – С. 64–68. URL: <http://is.nkzu.kz/publishings/%7BCB82D3B5-E786-4140-8746-D3437B4ED7BF%7D.pdf> (дата обращения: 14.06.2018).

6. Sherstyukov A.B., Sherstyukov B.G. Spatial Features and New Trends in Thermal Conditions of Soie and Depth ins Seasonal Thawing in the Permafrost Zone // Russian Meteorology and Hydrology. – 2015. – V. 40. – № 2. – P. 73–78. DOI: 10.3103/S1068373915020016.

7. Мезенцева О.В., Волковская Н.П. Пространственно-временная изменчивость глубины промерзания почвы и её влияние на минимальный сток рек Омской области / О.В. Мезенцева, Н.П. Волковская // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона: материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием (Омск, 21 апреля 2017). – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2017. – С. 79–82. URL: [file:///C:/Users/08042017/Downloads/sbornik\\_effekt\\_prirod.pdf](file:///C:/Users/08042017/Downloads/sbornik_effekt_prirod.pdf) (дата обращения: 11.07.2018).

### References

1. Burakov D.A. Navodneniya v bassejnax Sibiri / D.A. Burakov, Yu.V. Avdeeva, V.F. Kosmakova // Sbornik trudov SibNIGMI, vy'p. 105 «Gidrometeorologiya Sibiri», 2006. – P. 83–102. URL: [http://sibnigmi.ru/documents/papers\\_v105.pdf](http://sibnigmi.ru/documents/papers_v105.pdf) (дата обращения: 11.07.2018).

2. Meteorologicheskij informacionny'j sajt FGBU «VNI-IGMI-MCzD» [E'lektronny'j resurm]. – URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 19.04.2018).

3. Meteorologicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskixarakteristik i opredeleniyu ix raschetny'x znachenij po neodnorodny'm dannym. – SPb.: GGI, 2010. – 162 p. URL: <http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/gidro-6.pdf> (дата обращения: 11.05.2018).

4. Sxema kompleksnogo ispol'zovaniya i oxrany' vodny'x ob'ektov bassejna reki Irty'sh. – 2014. URL: <http://www.nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (дата обращения: 14.06.2018).

5. Volkovskaya N.P. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' maksimal'nogo zapasa vlagi v snezhnom pokrove i glubiny' promerzaniya pochvy' i ix vliyanie na minimal'ny'j stok reki Ishim // Sovremennoe nauchnoe znanie: teoriya, metodologiya, praktika: sbornik nauchny'x statej po materialam V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: v 2-x chastyax. Mezhdunarodny'j nauchno-informacionny'j centr «Naukosfera». – 2018. – Chast' 1. – P. 64–68. URL: <http://is.nkzu.kz/publishings/%7BCB82D3B5-E786-4140-8746-D3437B4ED7BF%7D.pdf> (дата обращения: 14.06.2018).

6. Sherstyukov A.B., Sherstyukov B.G. Spatial Features and New Trends in Thermal Conditions of Soie and Depth ins Seasonal Thawing in the Permafrost Zone // Russian Meteorology and Hydrology. – 2015. – V. 40. – № 2. – P. 73–78. DOI: 10.3103/S1068373915020016.

7. Mezenceva O.V., Volkovskaya N.P. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' glubiny' promerzaniya pochvy' i eyo vliyanie na minimal'ny'j stok rek Omskoj oblasti / O.V. Mezenceva, N.P. Volkovskaya // E'kologo-e'konomicheskaya e'ffektivnost' prirodo-pol'zovaniya na sovremennom e'tape razvitiya Zapadno-Sibirskogo regiona: materialy' VII Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem (Omsk, 21 aprelya 2017). – Omsk: Izd-vo OmGPU, 2017. – P. 79–82. URL: [file:///C:/Users/08042017/Downloads/sbornik\\_effekt\\_prirod.pdf](file:///C:/Users/08042017/Downloads/sbornik_effekt_prirod.pdf) (дата обращения: 11.07.2018).