ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 499, № 2, с. 203–208

ПРОБЛЕМЫ ВОД СУШИ

УДК 556.535

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЧНОГО СТОКА ЗИМНЕЙ МЕЖЕНИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ

© 2021 г. Ж. Т. Сивохип[1,*], В. М. Павлейчик[1], академик РАН А. А. Чибилев[1]

Поступило 13.04.2021 г.
После доработки 12.05.2021 г.
Принято к публикации 13.05.2021 г.

Представлены результаты анализа тенденций изменения речного стока в период зимней межени в бассейне р. Урал. Рассмотрена многолетняя динамика параметров стока с учетом фаз различной водности. Установлено, что водный режим рек исследуемого бассейна характеризуется устойчивой тенденцией сокращения доли весеннего стока и увеличения доли стока в зимний период. Рост доли зимнего стока обусловлен увеличением частоты и продолжительности положительных температурных аномалий, а также увеличением доли базисного (подземного) питания рек. Сопоставление значений годового стока и 30-суточных значений минимального стока зимнего периода иллюстрирует определенную взаимообусловленность в изменениях данных величин. Несмотря на общую тенденцию роста расходов зимней межени, выявлены и определенные различия для рек исследуемого бассейна, обусловленные неоднородностью условий стокоформирования. Региональные особенности формирования стока зимней межени подтверждают различные сроки наступления максимального (полного) истощения речного стока. Значительное увеличение водности рек в зимний период влияет на сокращение изменчивости суточных расходов, что согласуется с установленной ранее тенденцией снижения межгодовой изменчивости речного стока в бассейне р. Урал. Увеличение стока зимней межени имеет важное практическое значение, так как величина стока данного периода является лимитирующим фактором гарантированного и устойчивого водопотребления. Соответственно современные тенденции изменения водного режима рек бассейна р. Урал необходимо учитывать при определении регламента и норм использования водных ресурсов степной зоны.

Ключевые слова: речной сток, степная зона, водный режим, маловодный период, зимняя межень, истощение стока

DOI: 10.31857/S2686739721080168

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Актуальность исследования многолетних и сезонных вариаций стока рек степной зоны обусловлена интенсивным использованием водных ресурсов в условиях нестационарного климата. Вместе с тем разнообразие и генетическая разнородность факторов формирования стока, в том числе и маловодных периодов, осложняют изучение синхронности колебаний стоковых и метеорологических характеристик [12]. Необходимо учесть, что чем менее значительны вариации годового и экстремального стока воды, тем реальнее возможность организации экономически эффективного и экологически безопасного водопользования [7].

Одной из тенденций многолетних изменений водного режима, установленной для большинства рек Европейской территории России (ЕТР), являются сокращение доли весеннего стока и увеличение стока в зимний период, что приводит к определенному выравниванию годового гидрографа стока [1, 3, 4, 6, 9, 11]. Главные причины данных изменений – устойчивый рост значений приземной температуры воздуха, увеличение интенсивности и продолжительности оттепелей в холодный период. Кроме того, рост значений минимального стока в зимний период обусловлен увеличением доли базисного (подземного) питания рек [5].

Характерная особенность водного режима рек бассейна р. Урал – продолжительный и устойчивый маловодный период, объединяющий фазы летне-осенней и зимней межени. Ключевое значение для параметров зимней межени имеет взаимодействие основных стокообразующих факторов (осадки и подземные воды), непосредственно

[1] *Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия*
**E-mail: sivohip@mail.ru*

участвующих в формировании приходной части стока. Для меженного периода холодного сезона рек бассейна характерно отсутствие паводков. Устойчивость зимней межени на реках исследуемого бассейна различна и зависит от комплекса факторов – местных физико-географических условий, площади действующего водосбора и режима подземных вод и др. Для отдельных водотоков, преимущественно относящихся к малым и средним рекам, в зимний период отмечается полное истощение речного стока (нулевой сток), обусловленное промерзанием русла реки. Отметим, что в отличие от теплого сезона, когда для возобновления стока необходимо выпадение стокообразующих осадков, для стока холодного сезона достаточно повышения температуры воздуха [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходя из определения периода зимней межени [2], за временные пределы данной фазы для рек бассейна р. Урал приняты границы гидрологического сезона (ноябрь–март), характеризующегося низкими и устойчивыми по величине расходами.

Изменение величин стока зимней межени проанализировано по данным многолетних наблюдений в четырех створах рек – Урал (Оренбург), Сакмара (Татарская Каргала), Илек (Веселый), Орь (Истемес), отличающихся физико-географическими условиями стокоформирования и площадью водосборов. Сток трех рек частично зарегулирован водохранилищами – Сакмарское вдхр. сезонного регулирования (р. Сакмара), Ириклинское (р. Урал) и Актюбинское вдхр. (р. Илек) многолетнего регулирования. Для определения синхронности колебаний величин годового и сезонного стока проведен анализ среднегодовых и 30-суточных значений минимального стока зимнего периода. В связи с тем, что для рек ЕТР 1978 г. установлен как пороговый год изменения водности [5], анализ изменений величин стока зимней межени исследуемого бассейна выполнен для двух периодов, близких по продолжительности – 1950–1977 гг. (28 лет); 1978–2008 гг. (31 год), а также для всего периода наблюдений 1950–2018 (69 лет). Для данных периодов определены даты наступления абсолютных минимумов, установлены параметры изменчивости суточных расходов и истощения стока – продолжительность, амплитуда и интенсивность истощения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Меженный сток является составной частью годового стока, что определяет тесную взаимосвязь между этими величинами. Сопоставление значений годового стока и 30-суточных значений минимального стока зимнего периода иллюстрирует определенную взаимообусловленность в изменениях данных величин (рис. 1). Установлено, что максимальная синхронность колебаний годового и зимнего стока характерна для р. Сакмара, водосборная территория которой охватывает горнолесные и лесостепные возвышенные участки. Ранее для данной реки установлен устойчивый характер внутригодового распределения стока за многолетний период, независимо от степени водности [10].

Синхронность колебаний величин годового стока и стока зимней межени характерна и для рек с водохранилищами многолетнего регулирования (Урал, Илек). Нарушение синхронности колебаний данных величин стока р. Урал закономерно отмечается в период заполнения Ириклинского водохранилища (1958–1964 гг.), несмотря на значительное удаление от створа реки в г. Оренбург (более 500 км). В отличие от годовых значений, сток зимней межени р. Илек характеризуется низкоамплитудными колебаниями, что свидетельствует об устойчивой тенденции к росту минимального стока, даже в маловодные годы. Отсутствие синхронных изменений величин стока демонстрирует р. Орь, особенно в период 1978–2018 гг.

Тенденция увеличения расходов зимней межени подтверждается ростом значений абсолютных минимумов, в том числе и в экстремально маловодные годы (табл. 1).

Отметим, что выявленные тенденции роста величин абсолютных минимумов зимней межени являются непосредственным отражением многолетних трансформаций внутригодового распределения стока. Несмотря на общую тенденцию увеличения доли зимнего стока, выявлены и определенные различия для рек исследуемого бассейна, обусловленные неоднородностью условий стокоформирования. В частности, о региональных особенностях формировании стока зимней межени свидетельствуют различные сроки наступления максимального (полного) истощения речного стока. Также обращает внимание изменение в датах наступления абсолютных минимумов стока современного периода по сравнению с 1950–1977 гг. (рис. 2).

Период истощения зимнего стока р. Урал менее продолжительный, чем у главного притока – р. Сакмара, и наблюдается в первой половине лимитирующего сезона (преимущественно в декабре), с постепенным нарастанием водности. Река Сакмара характеризуется продолжительным периодом истощения стока с минимальными значениями расходов воды во второй половине зимнего сезона (февраль). Для периода зимней межени р. Илек характерно интенсивное сокращение

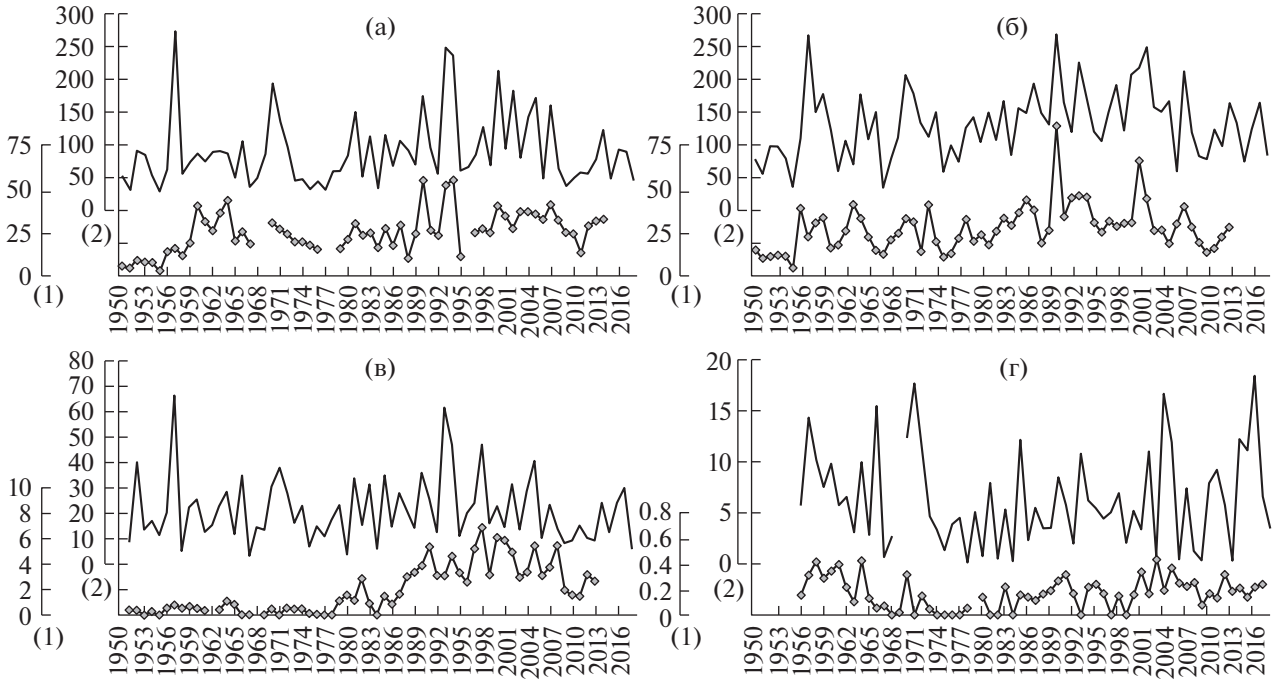

Рис. 1. Изменение величин стока 30-суточного минимального стока зимней межени (1) и годового стока (2) (Q, м^3/с): а – Урал (Оренбург); б – Сакмара (Сакмара); в – Илек (Веселый); г – Орь (Истемес).

водности, продолжающееся на протяжении всего зимнего периода с минимальными величинами речного стока в третьей декаде февраля–первой декаде марта.

Существенное увеличение водности рек в зимний период влияет и на сокращение изменчивости суточных расходов (табл. 2), что в целом согласуется с выявленной ранее тенденцией снижения межгодовой изменчивости речного стока в бассейне р. Урал [9, 11]. В связи с сокращением роли атмосферных осадков как источника питания в зимний период, многолетняя изменчивость зимнего стока существенно ниже изменчивости летне-осеннего стока [7].

Согласно данным табл. 2, устойчивое сокращение изменчивости стока зимнего периода характерно в первую очередь для рр. Илек и Орь, водосборные территории которых охватывают засушливые сухостепные ландшафты Зауралья. Коэффициенты вариации суточных расходов крупных рек Урал и Сакмара за рассматриваемый период не претерпели значительных изменений, за исключением последней декады марта.

Очевидно, что изменение сроков наступления, продолжительности и устойчивости межени обусловливает трансформацию параметров истощения стока, оценка которых в первую очередь важна для водохозяйственных целей. С учетом современных тенденций изменения стока зимней межени, можно утверждать о закономерном сокращении экстремальности маловодного периода. В то же время степень истощения речного сто-

Таблица 1. Абсолютные минимумы периода зимней межени в годы низкой водности

Река-пост	1955–1956		1975–1976		2010–2011	
	Q м^3/сек	Дата	Q м^3/сек	Дата	Q м^3/сек	Дата
Урал (Кизильское)	0.037	2.03	0.45	07.02	0.86	15.02
Урал (Оренбург)	2.30	12.02	16.20	15.12	7.12	23.01
Сакмара (Акъюлово)	0.065	12.01	0.73	01.01	1.52	30.01
Сакмара (Каргала)	4.20	20.01	10.50	19.02	11.00	07.01
Зилаир (Зилаир)	0.12	08.01	0.21	02.12	0.072	30.01
Илек (Веселый)	0.00	01.02	0.061	28.03	1.43	28.02
Жарлы (Адамовка)	–	–	0.00	09.02	0.20	21.02

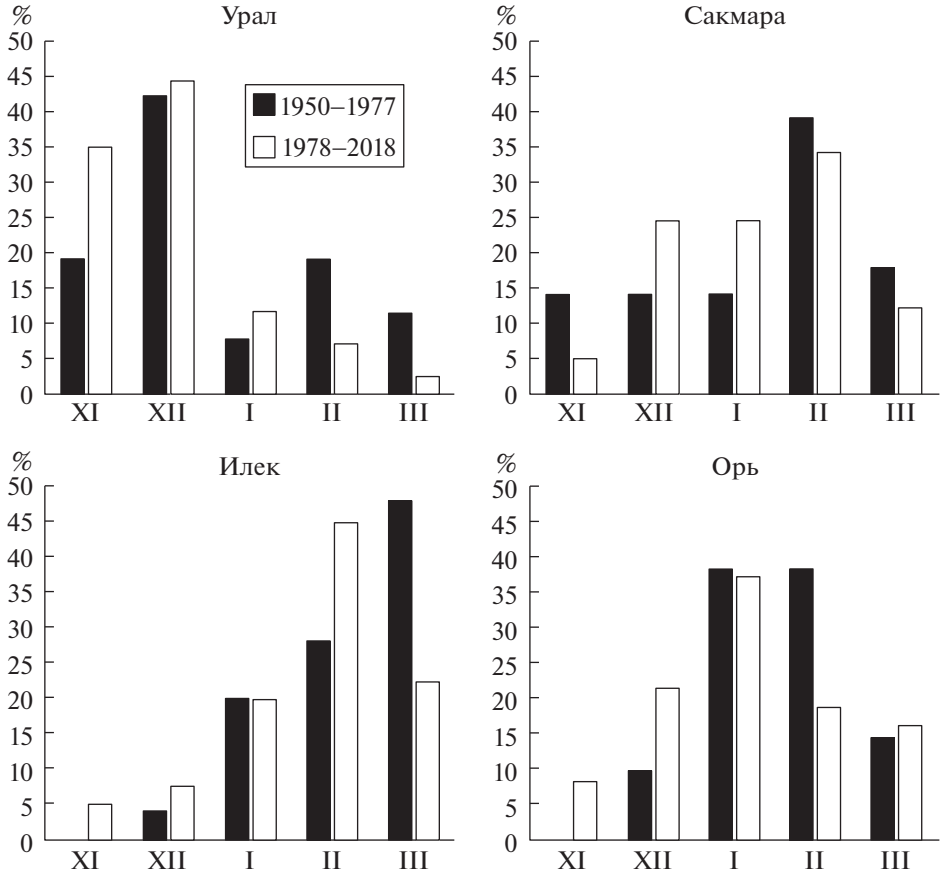

Рис. 2. Распределение дат (%) наступления абсолютного минимума стока зимней межени (1950–1977 гг.; 1978–2018 гг.)

ка в бассейне р. Урал по-прежнему крайне вариабельна и в отдельные годы довольно значительна, что подтверждают результаты оценки параметров истощения стока (табл. 3).

Продолжительность истощения зимнего стока (период между датами максимального и минимального расхода воды) сократилась в последние десятилетия, что обусловлено более ранними датами наступления абсолютных минимумов. Обращает внимание увеличение интенсивности истощения зимнего стока, что связано, прежде всего, с увеличением амплитуды колебаний расходов воды в условиях сокращения продолжительности истощения. Исходя из того, что амплитуда колебаний расходов холодного сезона определяется изменчивостью их максимальных значений, фик-

Таблица 2. Статистические характеристики суточных расходов зимней межени в бассейне р. Урал (периоды: числитель – 1950–1977 гг.; знаменатель – 1978–2008 гг.)

Река, период	Коэффициент вариации (C_v)					Коэффициент асимметрии (C_s)				
	XI	XII	I	II	III	XI	XII	I	II	III
Урал	0.16 / 0.14	0.14 / 0.13	0.07 / 0.10	0.06 / 0.07	0.33 / 0.23	0.38 / 0.86	0.77 / 1.72	0.77 / 0.81	2.07 / 0.58	1.33 / 1.31
Сакмара	0.62 / 0.65	0.53 / 0.98	0.59 / 0.48	0.52 / 0.50	0.97 / 0.54	1.39 / 1.18	0.58 / 1.04	0.51 / 1.20	1.91 / 1.35	1.53 / 2.03
Илек	0.30 / 0.20	0.36 / 0.14	0.39 / 0.12	0.22 / 0.14	0.86 / 0.70	0.18 / 0.43	1.83 / 1.46	1.74 / 3.79	2.07 / 3.82	0.28 / 1.20
Орь	0.10 / 0.09	0.21 / 0.10	0.37 / 0.16	0.17 / 0.08	0.85 / 0.42	–0.11 / 1.60	2.12 / 0.63	2.05 / 4.39	1.41 / 1.70	1.24 / 1.60

Таблица 3. Параметры истощения стока зимней межени в бассейне р. Урал

Река	Периоды	Продолжительность, суток	Амплитуда, $м^3/с$	Интенсивность истощения, $м^3/с/сут$
Урал	1950–1977	51	22.2	0.85
	1978–2008	31	20.4	1.02
	1950–2017	41	21.5	0.95
Сакмара	1950–1977	76	46.7	0.84
	1978–2008	67	53.0	1.38
	1950–2017	68	46.0	1.04
Илек	1951–1977	105	4.8	0.04
	1978–2008	95	6.9	0.08
	1950–2017	98	5.8	0.06
Орь	1957–1977	80	0.5	0.07
	1978–2008	66	0.2	0.004
	1957–2017	70	0.3	0.005

сируемых в начале сезона [8], можно сделать вывод об увеличении суточных расходов в первой-второй декадах ноября.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлена повсеместная трансформация внутригодового распределения стока в бассейне р. Урал, проявляющаяся, в том числе, в росте величин расходов зимней межени. В то же время, несмотря на преобладание однонаправленных сезонных изменений, для рек исследуемого бассейна характерны региональные различия, обусловленные в первую очередь площадью, густотой речной сети и физико-географическими условиями водосборных территорий. В частности, региональную специфику распределения стока зимней межени подтверждает пространственно-временная неоднородность в наступлении периода максимального истощения и дат абсолютных минимумов. Минимальные изменения внутригодового распределения стока установлены для рек, водосборы которых охватывают зональные лесостепные и горнолесные ландшафты (р. Сакмара), что свидетельствует о более высокой устойчивости параметров стока к климатическим флуктуациям. В целом увеличение стока зимней межени имеет важное практическое значение, так как величина стока данного периода является лимитирующим фактором гарантированного и устойчивого водопотребления. Соответственно, современные тенденции изменения водного режима рек бассейна р. Урал необходимо учитывать при определении регламента и норм использования водных ресурсов степной зоны.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках выполнения государственной темы ИС УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 “Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А.* Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология/ 2014. № 3. С. 75–85.
2. *Владимиров А.М.* Минимальный сток рек СССР. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1970. 214 с.
3. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А.* Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона // Фундаментальная и прикладная климатология/ 2016. № 2. С. 55–78.
4. *Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А.* Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 6. С. 603–611.
5. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А.* Изменение зимнего стока рек Европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 15. № 6. С. 581–588.
6. *Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г.* Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Издательский дом “Кодекс”. 2018. С. 285–297.
7. Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2012. 736 с.
8. *Комлев А.М.* Исследования речного стока. Избранные труды. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2006. 308 с.
9. *Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова А.Ж.* Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 1. С. 90–101.
10. *Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т.* Особенности многолетнего и сезонного стока рек бассейна р. Урал (на примере рр. Салмыш и Большой Ик) // Известия Иркутского государственного университета. 2018. Т. 24. С. 70–80.
11. *Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилев А.А., Падалко Ю.А.* Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне реки Урал // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 4. С. 504–516.
12. Современные ресурсы подземных и поверхностных в Европейской части России: формирование, распределение, использование / Под ред. Джамалова Р.Г., Фроловой Н.Л. М.: ГЕОС, 2015. 320 с.

CHANGE OF RIVER RUNOFF OF WINTER LOW WATER OF THE BASSIN RIVER URAL

Zh. T. Sivokhip[a, #], V. M. Pavleychik[a], and Academician of the RAS A. A. Chibilev[a]

[a] *Institute of Steppe of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: sivohip@mail.ru*

The results of the analysis of trends in river runoff changes during the winter dry season in the river basin are presented Ural. The long-term dynamics of runoff parameters is considered, taking into account the phases of different water content. It has been established that the water regime of the rivers of the studied basin is characterized by a stable tendency towards a decrease in the share of spring runoff and an increase in the share of runoff in winter. The increase in the share of winter runoff is due to an increase in the frequency and duration of positive temperature anomalies, as well as an increase in the share of base (underground) river recharge. Comparison of the values of the annual runoff and 30-day values of the minimum runoff in the winter period illustrates a certain interdependence in the changes in these values. It is noted that, in spite of the general tendency of an increase in the winter low-water flow rates, certain differences were also revealed for the rivers of the studied basin, due to the heterogeneity of the conditions of runoff formation. The regional features of the formation of the winter low-water runoff confirm the different dates of the onset of the maximum (complete) depletion of the river runoff. A significant increase in the water content of rivers in winter affects a decrease in the variability of daily flow rates, which is consistent with the previously established trend of a decrease in the interannual variability of river runoff in the river basin Ural. In conclusion, it is noted that an increase in the winter low-water runoff is of great practical importance, since the runoff value of a given period is a limiting factor in guaranteed and sustainable water consumption. Accordingly, the current trends in the change in the water regime of the rivers Urals basin must be taken into account when determining the regulations and norms for the use of water resources in the steppe zone.

Keywords: river runoff, steppe zone, water regime, low water period, winter low water period, runoff depletion