



Динамика изменения запасов воды в снежном покрове в Есильском водохозяйственном бассейне

Тиллакарим Т.А.^{a,b} , Кауазов А.М.^a , Гафуров А.^c

^a Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, 500501, Казахстан

^b Научно-исследовательский центр РГП «Казгидромет», пр. Мангилик Ел, 11/1, 010000, Астана, Казахстан

^c Немецкий исследовательский центр наук о земле (GFZ), Научный парк "Альберт Эйнштейн", Телеграфенберг, 14473, Потсдам, Германия

АННОТАЦИЯ

В статье представлена динамика изменения максимальных запасов воды в снежном покрове в Есильском водохозяйственном бассейне в период 1971-2019 гг. Основной целью работы является изучение динамики изменения влагозапасов снежного покрова, так как снежный покров играет важную роль в климатических, гидрологических и гляциологических процессах, являясь мощным климатообразующим фактором. Анализ произведен с применением методов математической статистики: путем сравнения средних многолетних значений за два последовательных периода: базовый - 1971-1995 гг. и современный - 1996-2019 гг.; метод линейной аппроксимации временных рядов и для определения тенденции изменения применен метод Манна-Кендалла. Для этого использованы декадные максимальные данные запасов воды в снежном покрове 24 метеорологических станций. В результате исследования выявлено, что за многолетний период запасы воды в снежном покрове варьируются в пределах от 38 мм (Чкалово) до 146 мм (Балкашино). Для современного периода по сравнению с базовым отмечаются более поздние сроки начала накопления и более ранние сроки полного стаивания. В различные периоды в ходе аномалий влагозапасов в первом приближении выявлены циклические колебания. Динамика изменения запасов воды за два последовательных периода, метод линейной аппроксимации и тест Манна-Кендалла показали, что статистически значимые изменения запасов воды наблюдаются на станциях Жаксы, Рузаевка, Саумалколь, Возвышенка, а на остальных станциях изменения статистически не значимы.

Подана в редакцию:
27 марта 2023

Принята к публикации:
25 июня 2023

Доступ онлайн:
21 июля 2023

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

запас воды в снежном покрове, сравнительный анализ, линейная аппроксимация, тест Манна-Кендалла, Казахстан

Для корреспонденции: Тиллакарим Т.А. ✉ tillakarimtursyn@gmail.com Казахский национальный университет им. аль-Фараби, ул. аль-Фараби, 71, Алматы, 500501, Казахстан

1. Введение

Снежный покров - мощный климатообразующий фактор, оказывающий значительное влияние на формирование погодных условий, играет значимую роль при взаимодействии климатических, гидрологических и гляциологических процессов (Утешев, 1959; Кузьмин, 1961; Чурюлин и др., 2018).

Пространственная изменчивость характеристик снежного покрова и особенности их структуры на макромасштабе играют важную роль в процессах энерго- и массообмена поверхности суши с атмосферой. Макромасштабная изменчивость снежного покрова значительно влияет на процессы гидрологического цикла суши, в частности, на формирование весенне-летнего половодья, определяющего водный режим крупнейших рек (Гельфан, Морейдо, 2015). Необходимо отметить, что формирование снежного покрова и снеготаяния играют значимую роль в гидрологическом цикле, в теплообмене суши и атмосферы на большей части Земли (Кучмент и др., 2009). Также изменение снежного покрова считается комплексным индикатором изменений климата холодного сезона, отражающим изменения температуры, осадков, частоты оттепелей. Кроме того, снежный покров оказывает решающее воздействие на множество природных процессов, включая отрасли экономики (Шмакин, 2010).

Снежный покров играет двойственную роль, он не только индикатор изменения климата, но и важный элемент, оказывающий влияние на климат. Поэтому изучение закономерности распределения характеристик снежного покрова - важная и актуальная задача (Батршина, 2005).

Из множества характеристик снежного покрова наиболее важное практическое значение имеет запас воды в снежном покрове (SWE - snow water equivalent), так как он играет существенную роль в сельском хозяйстве, обеспечивая накопление запасов влаги в почве и являясь дополнительным (а в Казахстане часто основным и единственным) источником питания рек (Утешев, 1959).

Для территории Казахстана исследования изменения основных характеристик снежного покрова ранее рассматривались в работах Пиманкиной (1998), Сальникова и др. (2015), Молдахметова, Махмудовой (2015), Кауазова и др. (2016), Елеуовой и др. (2021). Изменения SWE для территории Казахстана исследовались в работах Mashtayeva et al. (2016), Кауазова и др. (2020). Однако влагозапасы в данных работах изучались за короткий период и не учитывались последние годы, которые были одними из самых теплых за всю историю наблюдений на фоне усиливающегося антропогенного влияния.

Так, например, население г. Астана, расположенного по обеим сторонам р. Есиль, превысило более 1,2 млн человек (<https://stat.gov.kz>) и продолжает

расти, увеличившись за более чем 20 лет в 4 раза. Астана является столицей Казахстана, крупным административным и финансовым центром (более 10 % от ВВП страны). В этой связи изучение динамики снежного покрова, в частности, снегозапасов в Есильском бассейне представляет значительный интерес.

Основной целью данной работы является оценка возможного влияния изменения климата на запасы воды в снежном покрове на территориях Есильского водохозяйственного бассейна (ВХБ).

Основная задача исследования заключается в пространственно-временном анализе запасов воды в снежном покрове на территории Есильского ВХБ.

2. Объект исследования

Объектом данного исследования является Есильский ВХБ (рис. 1), который охватывает территорию Акмолинской и Кокшетауской областей, площадь его составляет 237 226 км², в том числе Акмолинская область - 122 100,8 км², Карагандинская область - 11 520,9 км², Костанайская область - 5611,3 км², Северо-Казахстанская область - 97 993 км² (Гальперин и др., 2012). Рельеф водосбора отличается разнообразием. В верховьях бассейна расположены горы Ниаз, по правобережью - южные склоны Кокшетауской возвышенности, а на юго-западе - отроги гор Улутау. Однако вследствие сглаженности рельефа даже этих повышенных районов мелкосопочника в целом водосбор характеризуется относительной выровненностью. Средняя высота бассейна в пределах Акмолинской области составляет около 350 м, а до г. Астана - 460 м. Ниже г. Астана река Есиль выходит на равнину (Ресурсы поверхностных вод ..., 1958; Гальперин, 1997; 2012).

3. Данные и методы исследования

В настоящей работе для оценки динамики изменений SWE на территории Есильского ВХБ использованы данные 24 метеорологических станций климатического мониторинга наблюдательной сети РГП «Казгидромет» за 1971-2019 гг. (рис. 1).

На некоторых станциях данные наблюдений отсутствовали, в связи с этим для проведения полной и качественной оценки эти данные были восстановлены методом аналогии (Лобанов и др., 2005), который заключается в поиске аналогов на основе использования количественных характеристик их «близости» (Восканян и др., 2019), имеющих схожие условия. Данный метод представляет собой восстановление на основе уравнений парной или множественной регрессии:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_i Y_i, \quad (1)$$

где Y - значение гидрометеорологической величины в проводимом пункте наблюдений; Y_i - значение в пунктах-аналогах; k_0 - свободный член; k_i - коэффициенты уравнения регрессии.

В целях надежного восстановления отсутствующих данных вышеуказанным методом учтены следующие критерии построения эффективного уравнения:

$$n' \geq 6-10; R \geq 0,7, \quad (2)$$

где n' - число совместных лет наблюдений в проводимом пункте и пунктах-аналогах; R - коэффициент парной корреляции между значениями рассматриваемого ряда и значениями величины в пунктах-аналогах.

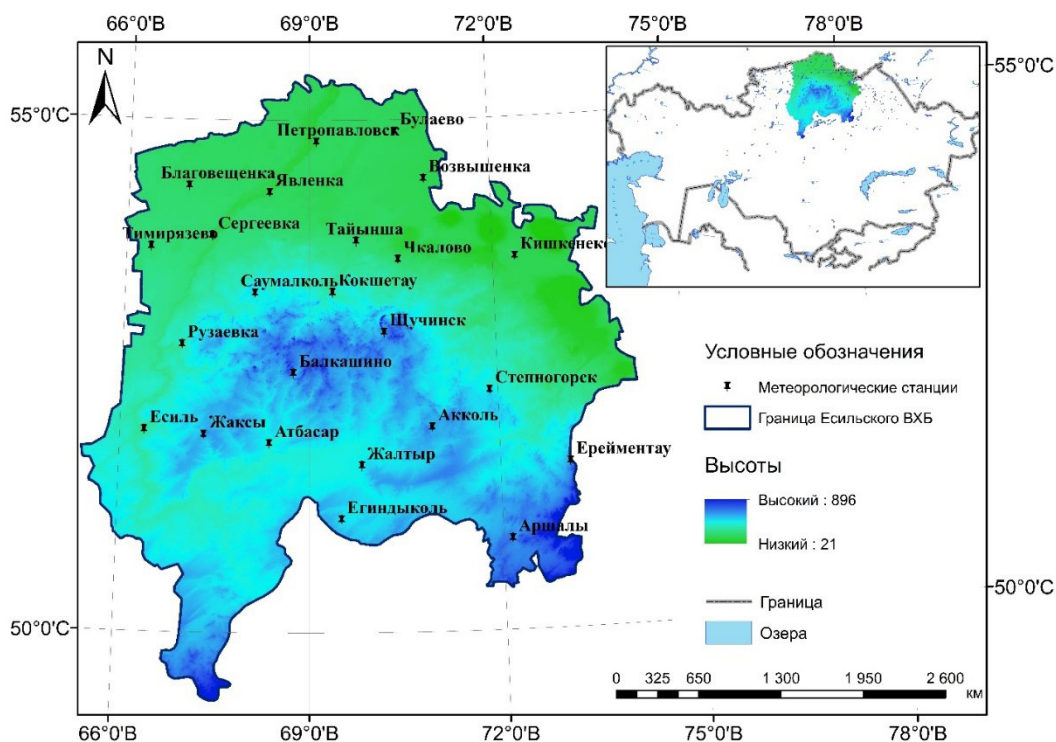


Рис. 1. Физико-географическая карта Есильского ВХБ

Изменения запасов воды в снежном покрове оценивались несколькими методами: путем сравнения средних многолетних значений за два последовательных периода 1971-1995 гг. и 1996-2019 гг. и с помощью линейной аппроксимации временных рядов количества запасов воды в снежном покрове. Временные ряды SWE за период 1996-2019 гг., рассчитанные относительно базового периода 1971-1995 гг. и пространственно осредненные по территории бассейна, дают общее представление о характере современных изменений режима запасов воды в снежном покрове.

Для выявления тенденций в данных временных рядов использовался непараметрический тест Манна-Кендалла (Mann, 1945; Kendall, 1975). Он обычно применяется для обнаружения монотонных тенденций в сериях данных об окружающей среде, климатических данных или гидрологических данных (Skaugen и др., 2012).

4. Результаты исследования

В данном исследовании оценка и анализ изменения влагозапасов произведены по их максимальным значениям, так как они играют определяющую роль в водном питании и формировании стока в весенний период, который очень актуален для территории Казахстана, в частности для равнинной территории.

Оценка изменения SWE производится в целом за весь период наблюдений (1971-2019 гг.) и методом сравнения средних многолетних значений за два последовательных периода 1971-1995 гг. (базовый период) и 1996-2019 гг. (современный период).

В исследуемом бассейне внутрисезонная динамика изменения максимальных влагозапасов, осредненных за период 1971-2019 гг. по всем метеостанциям, имеет характер монотонного накопления для обоих периодов, начиная с третьей декады октября, со средней скоростью около 4 мм/декада и достигают максимального значения 46 мм в период II декады февраля - I декады марта (рис. 2). Период накопления занимает 12 декад для обоих периодов. Период максимальных запасов воды в снеге различается: для базового периода он занимал три декады (со второй декады февраля по первую декаду марта), а для современного периода всего одну декаду (вторую декаду февраля). Соответственно период снеготаяния и сокращения SWE тоже различается. Для базового периода он занимал 5 декад, а для современного 6 декад (см. рис. 2). Скорость сокращения SWE характеризуется сначала небольшим убыванием в начале периода снеготаяния (1-4 мм), а затем резким сокращением в середине (15-19 мм), с замедлением в конце периода снеготаяния (1-8 мм). Данное распределение вполне типично для равнинной территории республики, так как Казахстан входит в зону сезонного снежного покрова и лишь его высокогорные районы могут быть отнесены к зоне вечных снегов (Утешев, 1959).

В распределении средних многолетних декадных SWE за два последовательных периода 1971-1995 гг. и 1996-2019 гг. в целом значительных изменений за последний современный период не наблюдается. По сравнению с предыдущим периодом (1971-1995 гг.) во втором периоде (1996-2019 гг.) наблюдается уменьшение запасов воды на 1-6 мм во все декады (в среднем 2 мм). Соответственно для современного периода по сравнению с базовым

отмечаются более поздние сроки начала накопления и более ранние сроки полного стаивания. Хотя данные отличия весьма небольшие, но кривая динамики изменения современного периода почти полностью лежит внутри кривой базового периода, как видно на рис.2.

Отдельного рассмотрения заслуживает период снеготаяния. Кривые динамики стаивания демонстрируют сдвиг периода таяния. В современный период отмечаются более ранние сроки начала таяния (уменьшения SWE) и полного стаивания. Конкретно оценить сдвиг в днях не представляется возможным, так как в данной работе временное разрешение составляет 1 декаду, являясь слишком грубым для оценки изменений, выраженных в днях. Отмечается также сдвиг максимального стаивания снежного покрова: если в базовом периоде максимальное сокращение SWE (на 37 %) отмечалось в первой декаде апреля, то в современный период максимальное сокращение SWE (на 41 %) отмечается декадой раньше - в третьей декаде марта (рис. 3). В целом, за две декады (третью декаду марта и первую декаду апреля) SWE сокращаются для базового и современного периода на 72 и 74 % соответственно.

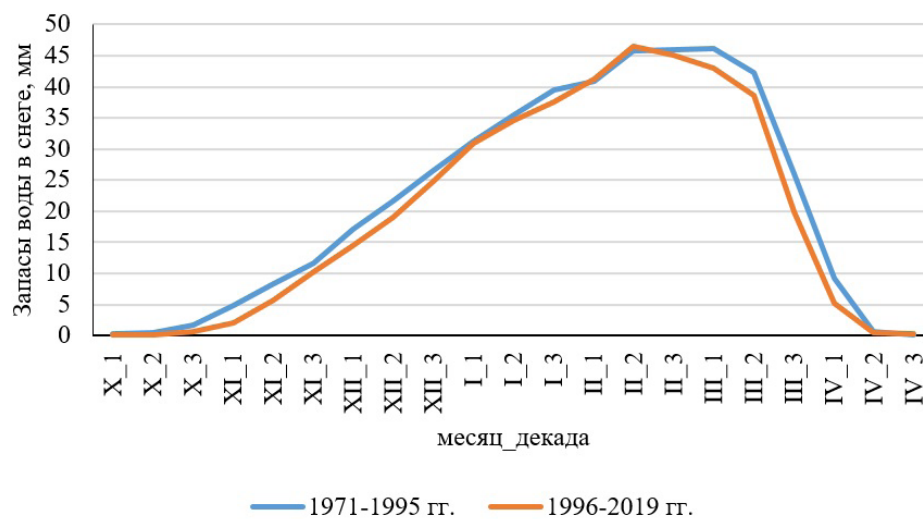


Рис. 2. Средние декадные запасы воды в снежном покрове за период 1971-2019 гг. на территории Есильского ВХБ

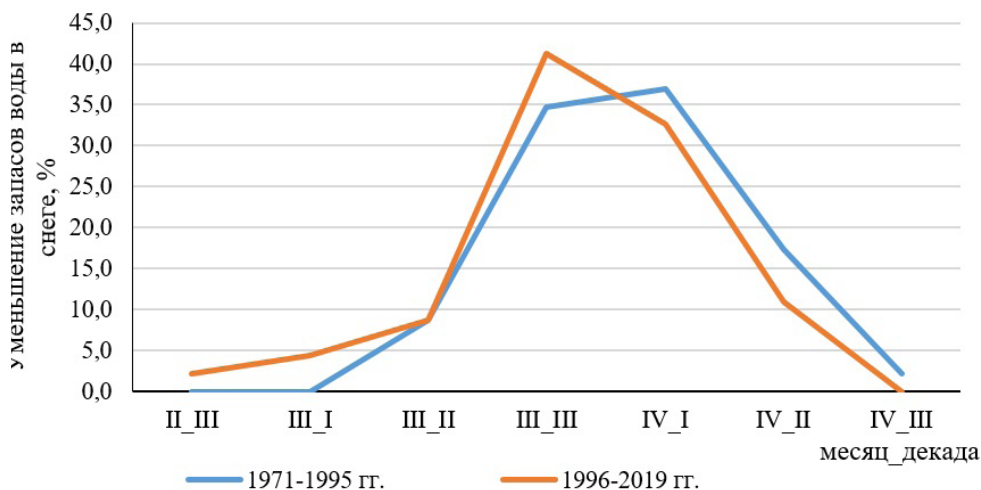


Рис. 3. Динамика уменьшения запасов воды в снежном покрове во время таяния за период 1971-2019 гг. на территории Есильского ВХБ

Следует отметить, что на равнинных территориях процессы формирования снежного покрова характеризуются значительной изменчивостью в широком диапазоне пространственных масштабов (Гельфан, Морейдо, 2015). По многолетним данным (Ресурсы поверхностных вод ..., 1959), на исследуемой равнинной территории Есильского ВХБ на западной, более возвышенной и облесенной части территории Кокшетауской области, наблюдаются более значительные снеготаяния, чем в ее восточной равнинной, степной части. SWE к началу весеннего снеготаяния чаще всего достигают 75-100 мм в западной и 55-60 мм в восточной части области. В малоснежные зимы запасы уменьшаются до 40-60 мм на западе и до 20-25 мм на востоке. В многоснежные зимы SWE на всей территории области достигают 100 мм и более, а на западных склонах Кокшетауской возвышенности местами могут достигать до 150-180 мм (в годы со снеготаяниями 1%-й обеспеченности).

В данной работе, согласно результатам расчета среднего значения максимального запаса воды в снежном покрове (SWE_{max}) за последние 50 лет в Есильском ВХБ, выявлено, что его значение варьируется в пределах от 38 мм (МС Чкалово) до 146 мм (МС Балкашино), а среднемноголетнее значение по площади к началу его таяния составляет 76 мм. На западных склонах Кокшетауской возвышенности, в районе бассейнов рр. Жабай и Калкутан SWE_{max} достигает 145 мм. На равнинной территории Северо-Казахстанской области (МС Чкалово, Тайынша) и на более восточной равнинной части Акмолинской области (МС Степногорск, Ерейментау) наблюдаются наименьшие значения SWE_{max} соответственно в среднем составляют 44,0 и 58,5 мм (табл. 1).

Для оценки изменения SWE_{max} , наряду с определением пространственного распределения, важно исследовать его временные изменения. В этих целях проведена оценка тенденции изменения SWE_{max} за период 1971-2019 гг. с разделением на две равные части.

Оценка изменения SWE_{max} методом сравнения средних многолетних значений за два последовательных периода 1971-1995 гг. и 1996-2019 гг. показала, что SWE_{max} на МС Саумалколь увеличился на 21,5 мм, на МС Жаксы на 26,9 мм, на МС Рузаевка на 45,6 мм, на МС Щучинск на 10,6 мм и на МС Благовещенка на 15,9 мм, а на МС Балкашино SWE_{max} в современный период уменьшился на 18,8 мм, на МС Сергеевка на 14,8 мм, на МС Возвышенка на 13,5 мм, на МС Явленка на 11,8 мм (см. табл. 1).

При рассмотрении в разрезе речных бассейнов выявлено небольшое увеличение до 7,7 мм на территориях истока р. Есиль, в бассейнах рр. Калкутан (+1,3 мм) и Шагалалы (+7,7 мм), а на территории бассейна р. Жабай наблюдается уменьшение до 12 мм. В целом по Есильскому ВХБ SWE_{max} в последний современный период увеличился на 2,6 мм.

Таблица 1. Результаты статистических характеристик метеорологических станций на территории Есильского ВХБ за период 1971-2019 гг.

№	Метеостанция	Запасы воды в снеге, мм				Манн-Кендалл тест		Коэффициенты	
		1970-2019	1970-1995	1996-2019	Δ	z-stat	p-value	a2, мм/10лет	R2, %
1	Акколь	101.4	103.7	99.4	-4.3	0,224	0,823	1.18	0.28
2	Аршалы	60.2	59.4	59.1	-0.2	1,242	0,214	2.3	1.32
3	Атбасар	91.4	96.2	87.2	-9.0	-0,276	0,783	-0.29	0.02
4	Балкашино	145.7	154.5	135.7	-18.8	-0,914	0,361	-4.77	2.97
5	Благовещенка	83.6	76.2	92.1	15.9	1,207	0,227	4.24	4.43
6	Булаево	83.4	83.3	84.7	1.4	0,164	0,870	1.37	0.61
7	Возвышенка	76.5	83.0	69.5	-13.5	-2,630	0,009	-6.54	12.67
8	Егиндиколь	87.1	85.4	88.8	3.4	0,889	0,374	2.08	2.94
9	Ерейментау	58.9	62.1	54.2	-7.9	-0,914	0,360	-0.85	0.29
10	Есиль	54.7	51.9	56.8	4.9	1,707	0,088	3.62	6.07
11	Жаксы	64.5	51.7	78.6	26.9	4,354	0,000	9.48	29.12
12	Жалтыр	92.5	91.6	92.7	1.1	-0,319	0,750	0.24	0.02
13	Кишкенеколь	89.3	88.3	92.0	3.7	-0,078	0,938	3.77	1.21
14	Кокшетау	45.0	39.8	50.7	10.9	1,734	0,083	2.63	4.09
15	Петропавловск	83.9	85.4	81.7	-3.7	-0,034	0,972	0.35	0.03
16	Рузаевка	75.6	53.3	98.8	45.6	5,139	0,000	17.8	41.03
17	Саумалколь	82.6	72.4	93.9	21.5	2,690	0,007	7.88	14.39
18	Сергеевка	77.2	84.6	69.9	-14.8	-0,923	0,356	-2.29	1.19
19	Степногорск	57.9	57.3	58.9	1.6	-0,009	0,993	-0.34	0.08

20	Тайынша	48.9	45.4	52.8	7.4	1,735	0,083	2.74	5.29
21	Тимирязево	63.4	64.8	62.8	-2.0	-0,707	0,479	-0.24	0.02
22	Чкалово	37.5	41.3	34.3	-6.9	-0,509	0,611	-1.69	1.52
23	Щучинск	81.7	75.7	86.3	10.6	2,026	0,043	5.49	6.35
24	Явленка	73.8	79.5	67.7	-11.8	-0,250	0,803	-3.17	1.67

На рис. 4 представлены среднегодовые аномалии запасов воды в снеге, усредненные по территории Есильского ВХБ за период с 1971 по 2019 г. В различные периоды в ходе аномалий SWE в первом приближении выявлены следующие цикличные колебания, которые требуют дополнительных уточнений: в период с 1970-1971 г. по 1983-1984 г. - цикл уменьшения влагозапасов, период с 1984-1985 г. по 1996-1997 г. - увеличения, с 2001-2002 г. по 2011-2012 г. - цикл уменьшения и дальнейшее увеличение до 2016-2017 г.

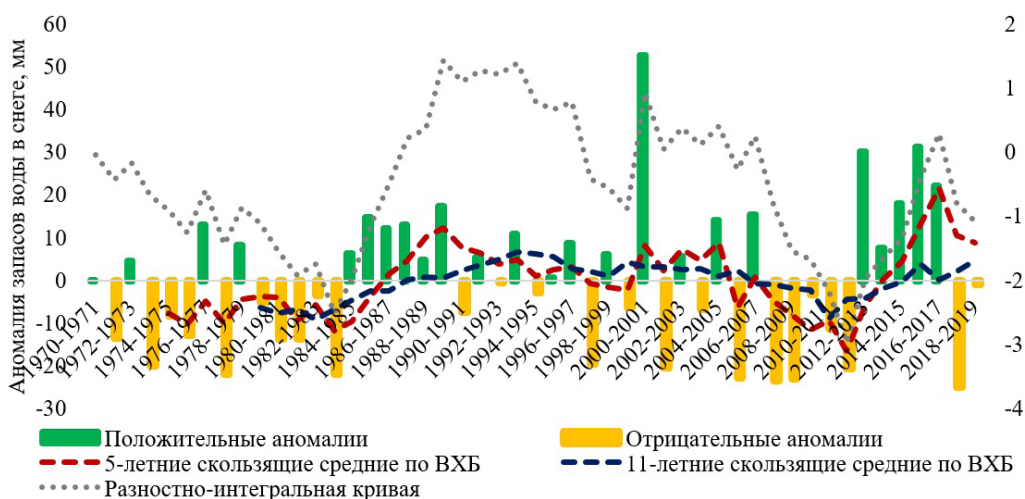


Рис. 4. Среднегодовая аномалия запасов воды в снеге, усредненная по территории Есильского ВХБ за период с 1971 по 2019 г.

В серии положительно аномальных лет выделяется 2001 год (+52,7 мм), который характеризовался как многоснежный. Также необходимо отметить серии годов с положительной аномалией с 2013 по 2017 г., в эти периоды на территории Есильского бассейна происходили значительные наводнения (Шмидт и др., 2018; Plekhanov, 2019).

По результатам теста Манна-Кендалла (см. табл. 1), который определяет тренд в данных временного ряда, на МС Возвышенка (0,009), Жаксы (0,0001), Рузаевка (0,0001), Саумалколь (0,007), Щучинск (0,043) значение p-value меньше 0,05, в этом случае мы отклоним нулевую гипотезу теста и придем к выводу, что в данных присутствует тенденция. По значению z-stat можно судить о направлении

тренда, если значение параметра «+», то имеется тренд к увеличению или наоборот. В этом случае на МС Возвышенка (-2,630) имеется тренд к уменьшению, а на МС Жаксы (+4,354), Рузаевка (+5,139), Саумалколь (+2,690), Щучинск (+2,026) наблюдается тренд к увеличению.

Как показано в табл. 1, на территории Есильского ВХБ скорость роста SWE_{max}, по данным метеорологических станций, колеблется от 0,24 до 17,8 мм/10 лет, скорость уменьшения составляет от минус 0,24 до 6,5 мм/10 лет. Статистически значимые тренды увеличения SWE_{max} наблюдались на МС Рузаевка 41,0 % каждые 10 лет, МС Жаксы 29,1 % каждые 10 лет, МС Саумалколь 14,4 % каждые 10 лет, также статистически значимые тренды уменьшения SWE_{max} наблюдались на МС Возвышенка 12,7 % каждые 10 лет.

5. Заключение

В данной работе в результате изучения пространственно-временных изменений SWE за период 1971-2019 гг. получены следующие выводы:

- в рассматриваемом водохозяйственном бассейне если максимальные запасы воды в снежном покрове в базовый период (1971-1995 гг.) в среднем достигают максимального значения во II декаде февраля, то во втором периоде (1996-2019 гг.) - в I декаде марта;

- наблюдается сдвиг даты наступления максимального запаса воды в снеге;

- среднее многолетнее значение максимального запаса воды в снежном покрове в Есильском ВХБ варьируется в пределах от 38 до 146 мм, среднеплощадное его значение составляет 76 мм;

- при оценке изменения в влагозапасах снежного покрова методы сравнения средних многолетних значений за два последовательных периода, метод линейной аппроксимации и тест Манна-Кендалла показали, что на станциях западной части водохозяйственного бассейна Жаксы, Саумалколь и Рузаевка тенденция увеличения статистически значимы; статистически значимое уменьшение запасов воды в снеге наблюдается на станции Возвышенка;

- в различные периоды в ходе аномалий влагозапасов в первом приближении выявлены циклические колебания.

Список литературы

Батршина, С.Ф. (2005). Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия [дисс. ... канд. геогр. наук]. Казань, 147 с

Батуев, В.И. (2011). Динамика характеристик снежного покрова в г. Санкт-Петербурге и его окрестностях за 60-летний период наблюдений (1950-2011 гг.). *Сборник работ по гидрологии*, 28, 14-22

- Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан (2022). Дата обращения: 04.06.2022. https://stat.gov.kz/region/268012/statistical_information/industry/7161
- Восканян, К.Л., Крюкова, С.В., Кузнецов, А.Д., Сероухова, О.С., Симакина, Т.Е. (2019). Восстановление пропусков в данных метеорологических станций методом аналогов. *Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации*, 70-71
- Гальперин, Р.И. (1997). Материалы по гидрографии Казахстана. Алматы: Казахский государственный университет, ч. 1, 2, 3
- Гальперин, Р.И., Медеу, А.Р., Достай, Ж.Д. (2012). Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана. Алматы: ТОО «Арко», т. VII, кн. 1
- Гельфан, А.Н., Морейдо, В.М. (2015). Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования. *Лед и снег*, 55(4), 61-72. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-4-61-72>
- Елеуова, К.Т., Нурбацина, А.А., Абаев, Н.Н., Болатов, К.М., Тиллакарим, Т.А., Ершова, Н.В. (2021). Районирование равнинной территории Республики Казахстан по плотности снежного покрова. *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*, 21(4), 169-175
- Кауазов, А.М., Дара, А.С., Батырбаева, М.Ж., Витковская, И.С., Муратова, Н.Р., Сальников, В.Г., Турулина, Г.К., Полякова, С.Е., Спивак, Л.Ф., Тюрбебаева, С.И. (2016). Исследование дат схода снежного покрова в Северном Казахстане. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 13, 1, 161-168
- Кауазов, А.М., Нурлан, А.Н., Жолдасбек, А.Е., Бозбекова, А.С. (2020). Возможность использования NOAA / GSFC в рамках проекта FEWSNET / USGS / EROS для оперативного гидрологического прогнозирования в Северном Казахстане. *Гидрометеорология и экология*, 3, 111-124
- Кешева, Л.А. (2016). Математико-статистический анализ изменений режима осадков холодного периода в различных климатических зонах юга ЕТР и его прогноз методом сингулярно-спектрального анализа [дисс. ... канд. физ.-мат. наук]. Нальчик, 144 с
- Кобышева, Н.В., Галюк, Л.П., Фасолько, Д.В. (2018). Методика расчета экстремумов временных метеорологических рядов в условиях нестационарности климатических изменений. *Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*, 590, 130-143
- Кузьмин, П.П. (1961). Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат.
- Кучмент, Л.С., Романов, П.Ю., Гельфан, А.Н., Демидов, В.Н. (2009). Оценка характеристик снежного покрова путем совместного использования моделей и спутниковой информации. *Исследование земли из космоса*, 4, 47-56
- Лобанов, В.А., Жильцова, Е.Л., Лемешко, Н.А., Горлова, С.А., Ренева, С.А. (2005). Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на европейской территории России. *Метеорология и гидрология*, 2, 5-14
- Молдахметов, М.М., Махмудова, Л.К. (2015). Пространственно-временная изменчивость максимальной высоты снежного покрова на территории Северного и Центрального Казахстана. *Гидрометеорология и экология*, 3, 28-37
- Пиманкина, Н.В. (1998). Тенденции изменения характеристик снежности казахстанской части Тянь-Шаня за последние 30 лет. *Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан*. Алматы, 75-79
- Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Акмолинская область Казахской ССР (1958). Л.: Гидрометеиздат, вып. 1
- Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Кокчетавская область Казахской ССР (1959). Л.: Гидрометеиздат, вып. 3
- Сальников, В.Г., Турулина, Г.К., Таланов, Е.А., Полякова, С.Е., Кауазов, А.М., Воротынцева, В.В. (2015). Структура многолетних колебаний образования и разрушения снежного покрова в Северном Казахстане. *Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*, 358, 133-144

- Турулина, Г.К., Сальников, В.Г., Полякова, С.Е., Муратова, Н.Р. (2013). Современные тенденции продолжительности залегания снежного покрова в Северном Казахстане. *Гидрометеорология и экология*, 3, 7-15
- Утешев, А.С. (ред.) (1959). Климат Казахстана. Л.: Гидрометеиздат
- Чурюлин, Е.В., Копейкин, В.В., Розинкина, И.А., Фролова, Н.Л., Чурюлина, А.Г. (2018). Анализ характеристик снежного покрова по спутниковым и модельным данным для различных водосборов на Европейской территории Российской Федерации. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2 (368), 120-143
- Шмакин, А.Б. (2010). Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия. *Лед и снег*, 1(109), 43-58
- Шмидт, М.Э., Худякова, Т.В., Амирова, И., Криворучко, Т.И., Ильясов, Я.З., Васенина, Е.И., Лоенко, Н. (2018). Стихийные гидрологические явления на территории Республики Казахстан в 2017 году. *Гидрометеорология и экология*, 4, 153-183
- Alhaji, U.U., Yusuf, A.S., Edet, C.O., Celestine Oche and Agbo, E.P. (2018). Trend analysis of temperature in Gombe state using Mann-Kendall trend test. *Journal of Scientific Research and Reports*, 20(3), 1-9
- Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259
- Mashtayeva, Sh., Dai Liyun, Che Tao, Sagin, J., Sadvakasova, S., Kussainova, M., Alimbayeva, D., Акунбеккызы, М. (2016). Spatial and temporal variability of snow depth derived from passive microwave remote sensing data in Kazakhstan. *Journal of Meteorological Research*, 30(6), 1033-1043. Doi:10.1007/s13351-016-5109-z
- Plekhanov, P.A., Medeu, N.N. (2019). Extreme hydrological phenomena in the Essil river basin: genesis, general patterns of manifestation. *Journal of Ecological Engineering*, 20(7), 187-195. DOI:10.12911/22998993/109880
- Skaugen, Th., Strandén H.B., Saloranta, T. (2012). Trends in snow water equivalent in Norway (1931-2009). *Hydrology Research*, 43.4, 489-499

SNOW WATER EQUIVALENT DYNAMICS IN THE YESIL WATER MANAGEMENT BASIN

Tillakarim T.A.^{a,b*} , Kauazov A.M.^a , Gafurov A.^c 

^a Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan

^b RSE Kazhydromet Scientific-Research Center, 11/1 Mangilik El St., 010000, Astana, Kazakhstan

^c GFZ German Research Centre for Geosciences, Wissenschaftspark "Albert Einstein", Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany

Corresponding author: tillakarimtursyn@gmail.com

<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/1-16.rus>

ABSTRACT

The article presents the snow water equivalent (SWE) dynamics in the Yesil Water Management Basin during 1971-2019. The main research purpose was to study the SWE dynamics, since - being a powerful climate-forming factor - snow cover plays an important role in climatic, hydrological, and glaciological processes. The analysis was carried out using mathematical statistics methods, specifically comparing the mean long-term values for two consecutive periods (baseline 1971-1995 and modern 1996-2019); the method of time series linear approximation and the Mann-Kendall method were applied to determine the trend of change. The study used the decadal maximum SWE data of 24 meteorological stations in the target basin. The research revealed that over a long period of time the SWE ranged from 38 mm (Chkalovo Station) to 146 mm (Balkashino Station); pointed to later periods of accumulation and earlier periods of complete stagnation during the modern period against the baseline; as well as detected cyclical fluctuations during various SWE anomaly periods in the first approximation. The SWE dynamics over two consecutive periods and the outcomes of linear approximation and Mann-Kendall analysis indicate statistically significant changes in water reserves at the Zhaksy, Ruzayevka, Saumalkol, Vozvyshenka Stations, and statistically insignificant changes at other stations.

ARTICLE HISTORY

Received: March 27, 2022

Accepted: June 25, 2023

Published: July 21, 2023

KEYWORDS

snow water equivalent (SWE), comparison analysis, linear approximation, Mann-Kendall trend test, Kazakhstan.

References

- Aljahi U.U., Yusuf A.S., Edet C.O., Celestine O. Oche and Agbo E.P. (2018). Trend test analysis of temperature in Gombe state using Mann Kendall trend test // *Journal of Scientific Research and Reports*, 20(3): 1-9
- Batrshina S.F. (2005). Dinamika snezhnogo pokrova na territorii Tatarstana vo vtoroj polovine XX stoletiya [Dynamics of snow cover on the territory of Tatarstan in the second half of the XX century] // dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni <https://www.dissercat.com/content/dinamika-snezhnogo-pokrova-na-territorii-tatarstana-vo-vtoroi-polovine-xx-stoletiya> [in Russian]
- Batuev V.I. (2011). Dinamika karakteristik snezhnogo pokrova v g. Sankt-Peterburge i ego okrestnostyah za 60-letnij period nablyudenij (1950-2011 gg.) [Dynamics of snow cover characteristics in St. Petersburg and its environs over a 60-year observation period (1950-2011)] // *Sbornik rabot po gidrologii*, № 28 / pod red. V. S. Vuglinskogo. SPb.: FGBU GGI, 14-22. [in Russian]
- Voskanyan K.L., Kryukova S.V., Kuznecov A.D., Serouhova O.S., Simakina T.E. (2019). Vosstanovlenie propuskov v dannyh meteorologicheskikh stancij metodom analogov [Restoration of omissions in the data of meteorological stations by the method of analogues] // *Sovremennye problemy gidrometeorologii i ustojchivogo razvitiya Rossijskoj Federacii*, 70-71. [in Russian]
- Gal'perin R.I. (1997). Materialy po gidrografii Kazahstan [Materials on hydrography of Kazakhstan]. - Almaty: Kazahskij universitet, T. - CH. 1, 2 i 3: str. 89. [in Russian]
- Gal'perin R.I., Medeu A.R., Dostaj ZH.D. (2012). Vodnye resursy Kazahstana: ocenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka Kazahstana. Vozobnovlyaemye resursy poverhnostnyh vod Zapadnogo, Severnogo, Central'nogo i Vostochnogo Kazahstana [Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Resources of the river flow of Kazakhstan. Renewable surface water resources of Western, Northern, Central and Eastern Kazakhstan] / red. Medeu A.R. - Almaty: TOO "Arko", T. VII, Kn.1: str. 684. - ISBN 978-601-7150-32-7. [in Russian]
- Gel'fan A.N., Morejdo V.M. (2015). Opisanie makromasshtabnoj struktury polya snezhnogo pokrova ravninnoj territorii s pomoshch'yu dinamiko-stohasticheskoj modeli ego formirovaniya [Description of the micro-scale structure of the snow cover field of a flat territory using a dynamic-stochastic model of its formation] // *Led i sneg*, T. 44, №4, 61-72. [in Russian]
- Eleuova K.T., Nurbacina A.A., Abaev N.N., Bolatov K.M., Tillakarim T.A., Ershova N.V. (2021). Rajonirovanie territorii Respubliki Kazahstan po plotnosti snezhnogo pokrova [Zoning of the territory of the Republic of Kazakhstan by snow cover density] // *Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo slavyanskogo universiteta*, T. 21, №4, 169-175. [in Russian].
- Kauazov A.M., Dara A.S., Batyrbaeva M.ZH., Vitkovskaya I.S., Muratova N.R., Sal'nikov V.G., Turulina G.K., Polyakova S.E., Spivak L.F., Tyurebaeva S.I. (2016). Issledovanie dat skhoda snezhnogo pokrova v Severnom Kazahstane [Study of the dates of the snow cover in Northern Kazakhstan] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, T. 13, №1, 161-168. [in Russian]
- Kauazov A.M., Nurlan A.N., ZHoldasbek A.E., Bozbekova A.S. (2020). Vozmozhnost' ispol'zovaniya NOAA/GSFC v ramkah proekta FEWSNET/USGS/EROS dlya opertivnogo gidrologicheskogo prognozirovaniya v Severnom Kazahstane [The possibility of using NOAA/GSFC within the FEWSNET/USGS/EROS project for operational hydrological forecasting in Northern Kazakhstan] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, №3, 111-123. [in Russian]
- Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London
- Kesheva L.A. (2016). Matematiko-statisticheskij analiz izmenenij rezhima osadkov holodnogo perioda v razlichnyh klimaticheskikh zonah yuga ETR i ego prognoz metodom singulyarno-spektral'nogo analiza [Mathematical and statistical analysis of changes in the precipitation regime of the cold period in various climatic zones of the south of the ETR and its forecast by the method of singular spectral analysis] // dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni <https://www.dissercat.com/content/matematiko-statisticheskii-analiz-izmenenii-rezhima-osadkov-kholodnogo-perioda-v-razlichnykh> [in Russian]

- Kobysheva N.V., Galyuk L.P., Fasol'ko D.V. (2018). Metodika rascheta ekstremumov vremennyh meteorologicheskikh ryadov v usloviyah nestacionarnosti klimaticheskikh izmenenij [Methodology for calculating the extremes of time meteorological series in the conditions of non-stationary climate change] // *Trudy glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*. № 590, 130-143. [in Russian]
- Kuz'min P.P. (1961). Process tayaniya snezhnogo pokrova [The process of melting snow cover] // *Gidrometeoizdat*, L.: 351. [in Russian]
- Kuchment L.S., Romanov P.YU., Gel'fan A.N., Demidov V.N. (2009). Ocenka harakteristik snezhnogo pokrova putem sovместnogo ispol'zovaniya modelej i sputnikovoj informacii [Assessment of snow cover characteristics by sharing models and satellite information] // *Issledovanie zemli iz kosmosa*, № 4, s. 47-56. [in Russian]
- Lobanov V.A., ZHil'cova E.L., Lemeshko N.A., Gorlova S.A., Reneva S.A. (2005). Vosstanovlenie mnogoletnih ryadov temperatury vozduha na evropejskoj territorii Rossii [Restoration of long-term series of air temperature in the European territory of Russia] // *Meteorologiya i gidrologiya*, №2, 5-14. [in Russian]
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259
- Mashtayeva Sh., Dai Liyun, Che Tao, et al. (2016). Spatial and temporal variability of snow depth derived from passive microwave remote sensing data in Kazakhstan. *Journal of Meteorological Research*. 30. 1033-1043. Doi:10.1007/s13351-016-5109-z
- Moldahmetov M.M., Mahmudova L.K. (2015). Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' maksimal'noj vysoty snezhnogo pokrova na territorii Severnogo i Central'nogo Kazahstana [Spatio-temporal variability of the maximum snow cover height in the territory of Northern and Central Kazakhstan] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, №3, 28-37. [in Russian]
- Pimankina N.V. (1998). Tendencii izmeneniya harakteristik snezhnosti Kazahstanskoj chasti Tyan'-SHanya za poslednie 30 let [Trends in snowfall characteristics of the Kazakh part of the Tien Shan over the past 30 years] // *Geograficheskie osnovy ustojchivogo razvitiya Respubliki Kazahstan. Almaty*, 75-79. [in Russian]
- Plekhanov P.A., Medeu N.N. (2019). Extreme hydrological phenomena in the Essil river basin: genesis, general patterns of manifestation. *Journal of ecological Engineering*, Vol.20, No, 7, pp. 187-195
- Resursy poverhnostnyh vod rajonov osvoeniya celinnyh i zaleznyh zemel'. Akmolinskaya oblast' Kazahskoj SSR (1958) [Surface water resources of virgin and fallow lands development areas. Akmola region of the Kazakh SSR] // L.: Gidrometeoizdat, vyp. 1: 789. [in Russian]
- Resursy poverhnostnyh vod rajonov osvoeniya celinnyh i zaleznyh zemel', Kokchetavskaya oblast' [Surface water resources of virgin and fallow lands development areas, Kokchetav region] (1959) // *Gidrometeoizdat*, Leningrad, III tom, 306. [in Russian]
- Sal'nikov V.G., Turulina G.K., Talanov E.A., Polyakova S.E., Kauazov A.M., Vorotynceva V.V. (2015). Struktura mnogoletnih kolebanij obrazovaniya i razrusheniya snezhnogo pokrova v Severnom Kazahstane [The structure of long-term fluctuations in the formation and destruction of snow cover in Northern Kazakhstan] // *Trudy gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rossijskoj Federacii*, Vypusk 358 Pod redakciej d-ra geogr. nauk V.M. Han, Moskva, 133-144. [in Russian]
- Skaugen, Th., Stranden H.B., Saloranta, T. (2012). Trends in snow water equivalent in Norway (1931-2009). *Hydrology Research*, 43.4, 489-499
- Turulina G.K., Sal'nikov V.G., Polyakova S.E., Muratova N.R. (2013). Sovremennye tendencii prodolzhitel'nosti zaleganiya snezhnogo pokrova v Severnom Kazahstane [Current trends in the duration of snow cover in Northern Kazakhstan] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, №3, 7-15. [in Russian]. Uteshev A.S. (1959). *Klimat Kazahstana [Climate of Kazakhstan]* // *Gidrometeoizdat*, L.: 371. [in Russian]
- Churyulin E.V., Kopejkin V.V., Rozinkina I.A., Frolova N.L., CHuryulina A.G. (2018). Analiz harakteristik snezhnogo pokrova po sputnikovym i model'nym dannym dlya razlichnyh vodosborov na Evropejskoj territorii Rossijskoj Federacii [Analysis of snow cover characteristics based on satellite and model data for various catchments in the European territory of the Russian Federation] // *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, № 2 (368), 120-143. [in Russian]

- Shmakin A.B. (2010). Klimaticheskie harakteristiki snezhnogo pokrova Severnoj Evrazii i ih izmeneniya v poslednie desyatiletija [Climatic characteristics of the snow cover of Northern Eurasia and their changes in recent decades] // *Led i sneg*, 43-57. [in Russian]
- SHmidt M., Hudyakova T., Amirova I., Krivoruchko T., Il'yasov YA., Vasenina E., Loenko N. (2018). Stihijnye gidrologicheskie yavleniya na territorii Respubliki Kazahstan v 2017 godu [Natural hydrological phenomena on the territory of the Republic of Kazakhstan in 2017] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, №4, 152-175. [in Russian]
- Elektronnyj resurs Byuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan [Electronic resource of the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan] https://stat.gov.kz/region/268012/statistical_information/industry/7161. Data obrashcheniya: 04.06.2022