

УДК 551.515.9(477.75)

Канд. геогр. наук

С.А. Долгих¹
Е.Ю. Смирнова¹**ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПОВТОРЯЕМОСТИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ И
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА
ТЕРРИТОРИИ ЕРТИССКОГО БАССЕЙНА**

Ключевые слова: неблагоприятные и экстремальные метеорологические явления, изменчивость, изменение климата, Ертисский бассейн

Проведена оценка повторяемости неблагоприятных и экстремальных метеорологических явлений на казахстанской части трансграничного бассейна р. Ертис за два последовательных периода: 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг. в условиях изменения глобального климата.

Введение. Глобальное потепление климата, которое происходит в настоящее время, продолжает находить подтверждение в данных наблюдений и уже мало кто оспаривает этот факт. В Заявлении ВМО о состоянии глобального климата в 2019 году [7] приведены самые последние данные об изменении глобального климата, в частности, говорится, что 2019 год вошел в десятку самых теплых лет за период инструментальных наблюдений (1850...2019 гг.), средняя глобальная температура в 2019 г. была примерно на $1,1 \pm 0,1$ °C выше доиндустриального уровня (1850...1900 гг.). Скорость современного роста глобальной температуры за последние сорок лет составила около $0,17$ °C за 10 лет. Согласно данным Ежегодного бюллетеня мониторинга состояния и изменения климата Казахстана за 2019 год [6] на территории Казахстана в последние десятилетия потепление климата происходило быстрее, чем на остальной части Земного шара, темпы роста средней температуры на территории Казахстана за период 1976...2019 гг. составила $0,31$ °C за 10 лет, и особенно быстро растет температура в западных областях, где скорость роста достигает $0,5$ °C за 10 лет.

¹РГП "Казгидромет", г. Алматы, Казахстан

Риски, связанные с изменением глобального климата, вызваны не столько с повышением среднего уровня глобальных и региональных приповерхностных температур воздуха, а также с тем, что повышение температуры воздуха увеличивает во многих регионах повторяемость и экстремальность погодных и климатических явлений, которые также значительно возросли во всем мире [20, 27, 30]. В ежегодном отчете Всемирного экономического форума (ВЭФ) опубликован рейтинг глобальных рисков за 2020 год [1]. В пятерке главных глобальных рисков, ранжированных по вероятности, первую позицию заняли экстремальные погодные явления. В списке рисков, ранжированных по масштабу оказываемого воздействия и тяжести последствий, экстремальные погодные явления уступили лишь оружию массового поражения и заняли второе место. Во избежание серьезных рисков, связанных с экстремальными климатическими изменениями, Парижское соглашение по климату направлено на поддержание среднего глобального потепления поверхности ниже 2,0 °C и предлагает более амбициозную цель – 1,5 °C по сравнению с доиндустриальным уровнем.

В докладе [27] отмечено, что рост стихийных бедствий в значительной степени связан с изменением глобального климата, включая экстремальные погодные явления. С 2000 по 2019 год было зафиксировано 6681 климатическое стихийное бедствие. Это существенно больше, чем в 1980...1999 гг. (3656 бедствий). В последние десятилетия изменение климата привело к увеличению частоты, интенсивности и серьезности таких бедствий. Например, в 2018 г. штормы, наводнения, засухи и лесные пожары вынудили 108 миллионов человек обратиться за помощью к международной гуманитарной системе.

В Специальном докладе МГЭИК о воздействиях 1,5 °C глобального потепления сообщалось [2], что согласно текущим темпам роста глобальное потепление, вероятно, достигнет 1,5 °C в период между 2030 и 2052 годами и в большинстве регионов мира экстремальные события и стихийные бедствия будут более частыми, если температура повысится на 2,0 °C, а не на 1,5 °C [24, 22, 25].

Экстремальные метеорологические и климатические явления занимают видное место во всех отчетах об оценках МГЭИК [8, 23]. Экстремальные явления могут способствовать возникновению стихийных бедствий, однако на риск этих бедствий влияют не только опасные физические явления. Риск стихийных бедствий возникает в результате взаимодействия метеорологических или климатических явлений – физических факторов,

способствующими риску стихийных бедствий, – с подверженностью и уязвимостью, которые являются антропогенными факторами, способствующими возникновению риска. Изменение климата может приводить к изменениям в частоте, интенсивности, пространственных масштабах, продолжительности и сроках экстремальных метеорологических и климатических явлений, и его результатом могут быть беспрецедентные экстремальные метеорологические и климатические явления.

Многие катаклизмы, которые происходят в последние годы, связаны с перестройками в климатической системе благодаря повышению температур приземного воздуха и поверхности воды в мировом океане [28]. Такое повышение температур приводит к изменениям в характере океанических течений, циркуляции в атмосфере и глобального и региональных гидрологических режимов.

В целом при потеплении глобального климата атмосфера становится более влагоемкой, что может привести к повышению уровня максимального количества осадков за один дождь. Но, как показано, например, в [21], меняется характер циркуляции атмосферы за счет более существенного прогрева высоких и средних широт. Изменение в циркуляции атмосферы способствует большей пространственной неоднородности осадков и это сильно влияет на региональные осадки – где-то их выпадает излишне много, а где-то, наоборот, их не хватает и, соответственно, в этих регионах происходит усиление засушливых явлений. Уже сейчас в теплый период года в некоторых южных районах Казахстана проявляется тенденция уменьшения осадков. Это связано с тем, что влага не так эффективно переносится в атмосфере из Арктики и Атлантики вглубь континента, и в будущем вероятно усиление этой тенденции. Более теплая Арктика усиливает обмен воздушными массами со средними широтами, при этом наиболее заметный эффект оказывают так называемые «ныряющие» циклоны. Их так называют из-за траектории их движения – практически с севера на юг. Свободные ото льда арктические моря являются источником холодных дождей в умеренных широтах и летних волн холода.

Следуя определению МГЭИК [23], экстремальное метеорологическое или климатическое явление – достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (или ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) пределу диапазона наблюдаемых значений данной переменной. Спецификация экстремальных погодных и климатических явлений, влияющих как на отдельного человека,

так и на сообщества и правительства, зависит от затронутой заинтересованной стороны, будь то в области сельского хозяйства, борьбы с болезнями, городского проектирования, обслуживания инфраструктуры и т. д. Соответственно, диапазон таких экстремальных явлений очень разнообразен и широко варьируется.

Абсолютные пороговые значения (а не относительные пороги, основанные на диапазоне наблюдаемых значений переменной) также могут использоваться для определения экстремальных явлений (например, конкретных критических температур для воздействия на здоровье). То, что относят к экстремальным погодным или климатическим явлениям, варьирует от места к месту в абсолютном смысле (например, жаркий день в тропиках имеет другую температуру, чем жаркий день в средних широтах) и, возможно, варьирует по времени, заданному со стороны общества для некоторой адаптации. Некоторые экстремальные климатические явления (например, засухи, наводнения) могут быть результатом накопления умеренных погодных или климатических явлений – накопление само по себе является экстремальным. Сложные события, то есть два или более события, происходящие одновременно, могут приводить к сильным воздействиям, даже если по отдельности два события сами по себе не являются экстремальными (только их комбинация).

В национальной гидрометеорологической службе Казахстана для территории Республики приняты критерии для определения экстремальных метеорологических явлений, которые могут привести к стихийным бедствиям, представленные подробно в Методических указаниях по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации [11].

Целью исследования является оценка изменения годовой и сезонной повторяемости неблагоприятных атмосферных явлений, которые могут способствовать возникновению стихийных бедствий в условиях глобального потепления.

Регион исследования – территория Ертисского бассейна, которая характеризуется резко континентальным климатом. Южная часть бассейна расположена на казахстанской части Горного Алтая. Из-за большой удаленности и отгороженности горными системами теплые и влажные воздушные массы с Атлантического океана доходят сюда трансформированными, потерявшими большую часть влаги, а воздушные массы, проникающие с Северного Ледовитого океана – холодными и сухими. Холмисто-мелкосопочные и равнинные районы левобережья р. Ертис отличаются

ся особенно большой сухостью. Для западных и северных периферийных, а также центральных высокогорных районов характерна наибольшая увлажненность. Сложная орография, наличие замкнутых котловин и плоскогорий обуславливают большие различия климатических особенностей отдельных районов. Климат Алтая в целом значительно мягче, чем в соседних районах, лето прохладное, а зима относительно теплее [16].

Исходные данные и методы. В данной работе использованы данные Государственного гидрометеорологического фонда РГП «Казгидромет» о всех случаях стихийных метеорологических явлений за период 1981...2019 гг. (град; пыльная буря; сильная метель; сильный ветер; сильный гололед; сильный дождь ≥ 30 мм в селевых и ливнеопасных районах; сильный дождь ≥ 50 мм; сильный ливень ≥ 30 мм за 1 час; сильный туман; снегопад выше ≥ 20 мм за 12 часов и менее), данные о суточной температуре воздуха, данные о месячном и суточном количестве осадков.

В исследовании использованы методы статистического анализа временных рядов, а также сравнительная оценка повторяемости экстремальных метеорологических явлений (ЭМЯ) за два последовательных периода: 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг. Для исследования условий увлажнения, включая засуху, использован стандартизированный индекс осадков (SPI), рекомендованный ВМО, и сравнительная оценка повторяемости различных условий увлажнения за два последовательных периода.

Результаты и обсуждение. В работе проведен анализ повторяемости различных стихийных метеорологических явлений в различные месяцы года, в целом за многолетние период 1981...2019 гг. Также для оценки изменений в повторяемости в условиях изменения глобального климата, рассмотрено число случаев каждого стихийного явления за два последовательных периода: 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг.

Результаты показали, что на территории Ертисского бассейна в период 2001...2019 гг. общее число случаев со стихийными явлениями уменьшилось на 26 % по сравнению с периодом 1981...2000 гг. (табл. 1) – с 334 случаев до 247 случаев. В отдельные годы, например, в 1990, 2001 и 2010 гг. количество экстремальных явлений погоды значительно превышало средний многолетний уровень (рис.1а). Наибольшую повторяемость имеют сильный ветер, затем по убыванию – сильная метель и сильный дождь ≥ 30 мм в селевых и ливнеопасных районах. Остальные

стихийные метеорологические явления имеют сравнительно малую повторяемость.

Таблица 1

Характеристики повторяемости различных стихийных метеорологических явлений (общее число случаев, доля в общем числе случаев, повторяемость в год) по казахстанской территории Ертисского бассейна, рассчитанные за периоды 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг.

Наименование явления	Ертисский бассейн				Изменение, %
	1981...2000		2001...2019		
	кол-во	доля, %	кол-во	доля, %	
Град	12	3,6	10	4,0	-16,7
Пыльная буря	6	1,8	2	0,8	-66,7
Сильная метель	126	37,7	59	23,9	-53,2
Сильный ветер	145	43,4	123	49,8	-15,2
Сильный гололед	1	0,3	1	0,4	0,0
Сильный дождь ≥ 30 мм в селевых и ливнеопасных районах	23	6,9	24	9,7	4,3
Сильный дождь ≥ 50 мм	1	0,3	2	0,8	100,0
Сильный ливень ≥ 30 мм за 1 час	3	0,9	6	2,4	100,0
Сильный туман	3	0,9	11	4,5	266,7
Снегопад выше ≥ 20 мм за 12 часов и менее	14	4,2	9	3,6	-35,7
Общее количество случаев	334	100	247	100	26,0

От периода 1981...2000 гг. к периоду 2001...2019 гг. в Ертисском бассейне в два раза уменьшилась повторяемость случаев сильной метели и на 15 % сильного ветра (табл. 1, рис. 2).

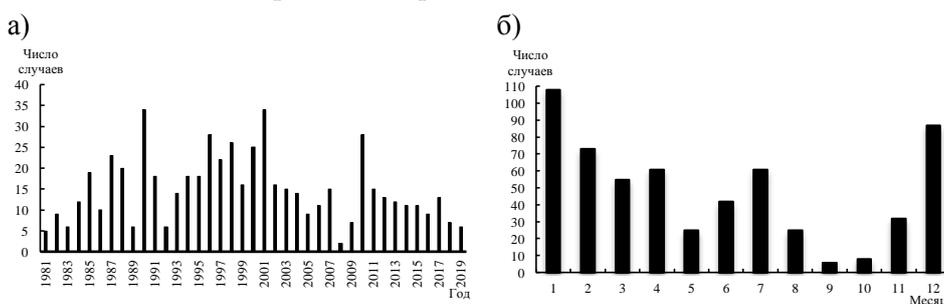


Рис. 1. Число случаев опасных метеорологических явлений по годам (а) и по месяцам (б) на казахстанской территории Ертисского бассейна за период 1981...2019 гг.

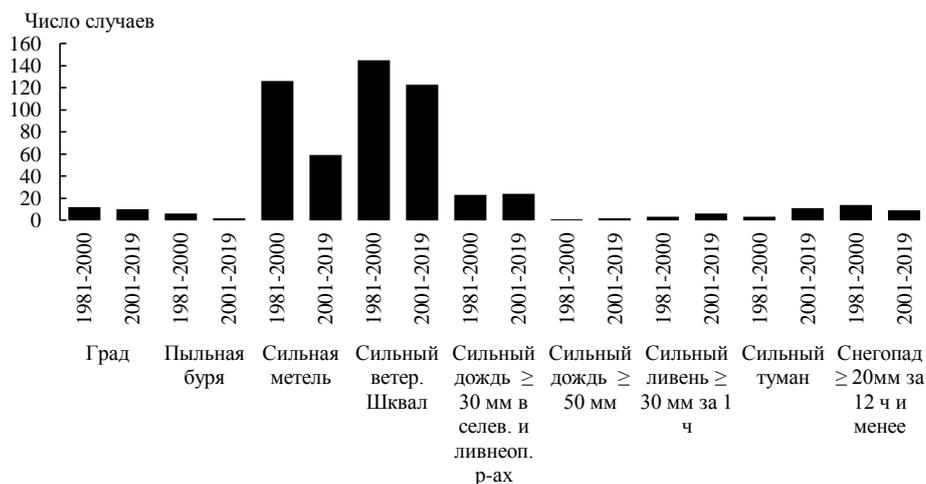


Рис. 2. Сравнение количества случаев различных стихийных метеорологических явлений в периоды 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг. на казахстанской территории Ертысского бассейна.

Общее количество стихийных явлений имеет выраженный сезонный ход (рис. 1б). Максимум стихийных явлений наблюдается в зимний период, также относительно значительное их количество отмечено в весенне-летний период, минимум – в сентябре-октябре. На рис. 3 показано, какие именно явления наблюдались в тот или иной месяц, и какая была их повторяемость в период 1981...2000 гг. и период 2001...2019 гг. Так, в холодный период года чаще всего наблюдается сильная метель и сильный ветер. Также нередко случаи сильного тумана. С марта по июнь наиболее существенна повторяемость сильного ветра, в июле – сильных дождей в селевых и ливнеопасных районах и ливней (≥ 30 мм за 1 час). С апреля по август месяцы возможен крупный град с максимумом случаев в июне-июле.

При сравнении повторяемости различных явлений за два последовательных временных периода 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг. необходимо отметить следующие особенности (рис. 3). В зимние месяцы значительно сократилось количество случаев сильной метели, в марте, наоборот, увеличилось, такая же тенденция характерна для случаев сильного ветра. В апреле произошло резкое сокращение повторяемости сильного ветра. С мая по июль несколько участились случаи сильного ветра.

Одним из важнейших факторов для устойчивого развития сельского хозяйства в такой стране, как Казахстан, климат которой во многих регионах характеризуется как засушливый, является такое явление как засу-

ха. Засуху невозможно предотвратить даже при удачном их прогнозе. Но знание о ее повторяемости в исторический период и своевременное выявление ее наступления по четким критериям способствует принятию наиболее целесообразных в сложившихся условиях управленческих и хозяйственных решений, направленных на снижение ущерба [14]. Условия увлажнения любой территории, по сути, являются соотношением между количеством атмосферных осадков и испаряемостью (или температурой воздуха, т.к. испаряемость – функция температуры) [4]. При избыточном увлажнении осадки превышают испаряемость, и часть выпавших осадков удаляется через подземный и поверхностный сток. При недостаточном увлажнении осадков выпадает меньше, чем их может испариться.

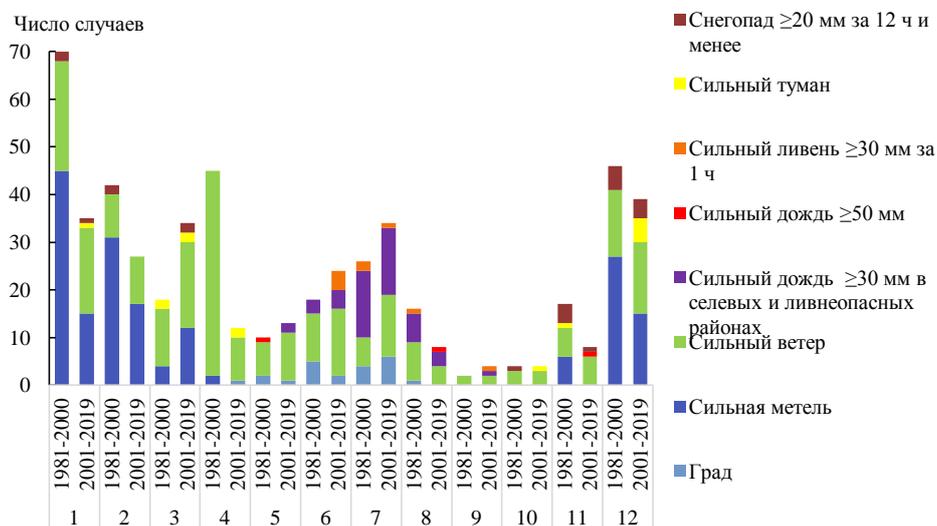


Рис. 3. Сравнение числа случаев различных стихийных метеорологических явлений по месяцам за два периода 1981...2000 гг. и 2001...2019 гг. по территории Ертисского бассейна.

Не существует универсального показателя засухи, страны, как правило, используют несколько показателей для мониторинга и прогнозирования засухи. Ряд российских ученых, среди которых Обухов В.М. и Мещерская А.В. [13, 12, 5] предложили оценивать атмосферные засухи по сумме осадков в процентах от средней многолетней климатической нормы. При сумме осадков менее 50 % климатической нормы наблюдается очень сильная засуха, 50...70 % нормы – сильная засуха, 71...80 % нормы – средняя засуха.

К наиболее часто используемому методу оценки увлажненности территории на постсоветском пространстве относится гидротермический

коэффициент Селянинова Г.Т. (ГТК, [18]) – интегральный показатель гидротермического режима, учитывающий тепло и влагу и употребляемый в качестве показателя влагообеспеченности или показателя условий произрастания сельскохозяйственных культур. Показатель увлажнения Шашко Д.И. (К) учитывает сумму осадков за вегетационный период, которая делится на сумму суточных дефицитов влажности воздуха за тот же период [17]. Индекс увлажнения Иванова Н.Н. применяется к различным отрезкам годового цикла [3], за которые используются данные наблюдений за атмосферными осадками, температурой и влажностью воздуха. Для оценки засушливости/увлажненности территории на постсоветском пространстве также часто используется индекс Педея Д.А. (Si) [15], на базе которого был создан каталог засух на территории СССР, выпущенный в 1977 г. [9]. В многих странах (Австралия, Европа, Бразилия, Канада, США) используется индекс Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI), базирующийся на уравнении водного баланса и позволяющий определять наступление засухи и степень ее суровости [19].

Это далеко не полный перечень показателей засухи. В данной работе для определения условий увлажнения использовался стандартизированный индекс осадков (SPI – standardized precipitation index), который основан на вероятности распределения количества осадков, агрегированного за различные временные масштабы, с учетом того, что продолжительность дефицита осадков оказывает различное воздействие на поверхностный и подземный сток природных вод, снежный покров и влажность почвы [26]. В 2010 г. Исполнительный совет Всемирной метеорологической организации на 62 сессии рекомендовал всем Национальным гидрометеорологическим службам (НГМС) рассмотреть возможность использования стандартизированного индекса осадков для характеристики засухи в дополнение к другим индексам засухи, которые уже используются в национальных службах (резолюция 4.1/1 ИС-LXII). Фактически единственным необходимым исходным параметром для расчета SPI является количество осадков. SPI может рассчитываться для разных временных масштабов, представлять заблаговременное предупреждение о засухе и способствовать оценке интенсивности засухи [10]. Засуха наблюдается в любое время, если значения индекса SPI постоянно отрицательны и достигают интенсивности минус 1,0 или менее. Засуха заканчивается, когда значения SPI становятся положительными. Каждый случай засухи, следовательно, можно охарактеризовать длительностью и интенсивностью засухи для каждого

месяца или периода, в течение которого явление наблюдалось. Для определения интенсивности засухи используется классификация значений стандартизированного индекса осадков, представленная в табл. 2. Помимо того, этот индекс в равной степени эффективен при анализе влажных периодов/циклов, как и при анализе сухих периодов/циклов.

Таблица 2

Классификация значений SPI и характеристики периода

Значения СИО	Категория	Число случаев за 100 лет	Период повторяемости
2,00 или выше	экстремально влажно	2	1 раз в 50 лет
1,50...1,99	очень влажно	5	1 раз в 20 лет
1,00...1,49	умеренно влажно	10	1 раз в 10 лет
0,99...0	близко к норме	33	1 раз в 3 года
0...-0,99	близко к норме слабовыраженная засуха)	33	1 раз в 3 года
-1,00...-1,49	умеренно засушливо (умеренная засуха)	10	1 раз в 10 лет
-1,50...-1,99	сильно засушливо (сильная засуха)	5	1 раз в 20 лет
-2,00 и менее	экстремально засушливо (экстремальная засуха)	2	1 раз в 50 лет

Значения SPI обеспечивают сравнение осадков за определенный период (1, 3, 6, 9, 12 и 24-х месячный и более период) с осадками того же периода за все годы, включенные в анализ. Состояние влажности почвы реагирует на аномалии осадков в относительно кратком временном масштабе. Состояние подземных вод, речного стока и водохранилищ отражает долгосрочные аномалии осадков. Так, например, значения SPI, рассчитанные по данным о суммах осадков за 1 месяц (SPI-1), отражают относительно краткосрочные условия увлажнения, т.е. SPI-1 тесно связано с метеорологическим типом засухи наряду с краткосрочной влажностью почвы и стрессом растений, особенно во время вегетационного периода. SPI, рассчитанный по данным за 3...6 месяцев, полезен для анализа сельскохозяйственной засухи. Значения SPI по данным от 6 до 24 месяцев, или более, отражают долгосрочные тенденции в осадках и полезны для определения гидрологической засухи.

По сути, индекс SPI – это число стандартных отклонений от нуля, где все значения меньше 0 есть дефицит осадков, а выше нуля – избыток осадков. Таким образом, можно судить о засушливости и увлажненности

территории в терминах индекса SPI. Одним из важных плюсов индекса SPI является возможность применения расчетов и визуализации индекса для любой местности за счет нормализации сумм осадков. Положительные значения SPI указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные – ниже среднего. Так как SPI нормализуется, то более влажные или сухие климаты могут быть представлены одинаковым образом; соответственно, при помощи SPI может также осуществляться мониторинг не только засушливых периодов, но и дождливых.

Преимущества индекса заключаются в том, что он может быть рассчитан для различных временных интервалов (от декады до нескольких лет), позволяет оценить степень суровости засухи, заранее предупредить о засухе и сравнивать условия увлажнения в различных точках региона.

Недостатки индекса заключаются в том, что величины, базирующиеся на выборках данных за прошлые годы, условия могут меняться.

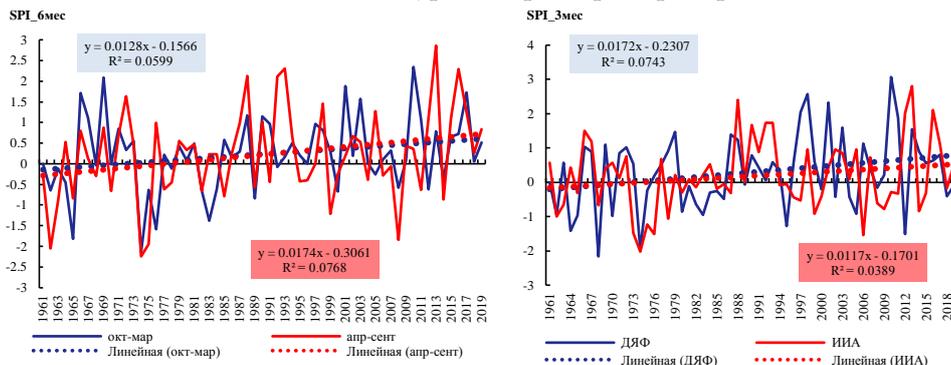
В данном исследовании SPI был рассчитан по данным метеостанций на казахстанской территории исследуемого бассейна за различные временные периоды, то есть, когда учитываются накопленные суммы осадков за различные периоды, например, за месяц, за зимний сезон, или за холодный период.

Проведен анализ изменения стандартизованного индекса осадков (SPI) за период 1961...2019 гг. для холодных и теплых полугодий и для зимнего и летнего сезонов по метеостанциям, расположенных в различных физико-географических условиях на территории Ертисского бассейна. Примеры для некоторых станций представлены на рис. 4. Индекс стандартизован относительно периода 1961...1990 гг. Результаты указывают, что по данным большинства станций как в летний сезон и в целом за теплое полугодие условия увлажнения не имеют какой-либо тенденции к изменению, о чем свидетельствует малый вклад трендовой составляющей в общую дисперсию временного ряда SPI. Редкое исключение составляют некоторые равнинные станции, где коэффициент детерминации R^2 положительного линейного тренда несколько превышал 5 %: МС Бакты (предгорье хр. Тарбагатай); МС Павлодар, МС Актогай и МС Шарбакты, расположенные на Кулундинской равнине. Для зимнего сезона и холодного полугодия по данным большинства станций также характерно отсутствие существенных изменений в условиях увлажнения, исключения – МС Бакты, МС Аягоз (район горного хр. Акшатау), МС Зайсан (Зайсанская котловина) и МС Павлодар, где наблюдались положительные тенденции.

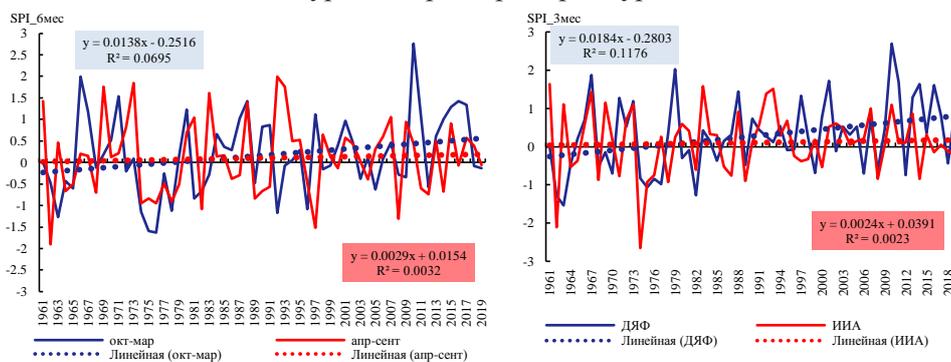
а)

б)

МС Бакты, 441 м над ур. м – предгорье хр. Тарбагатай



МС Зайсан, 604 м над ур. м. – предгорье хр. Саур, Зайсанская котловина



МС Катон-Карагай, 1081 м над ур. м. – хр. Нарын

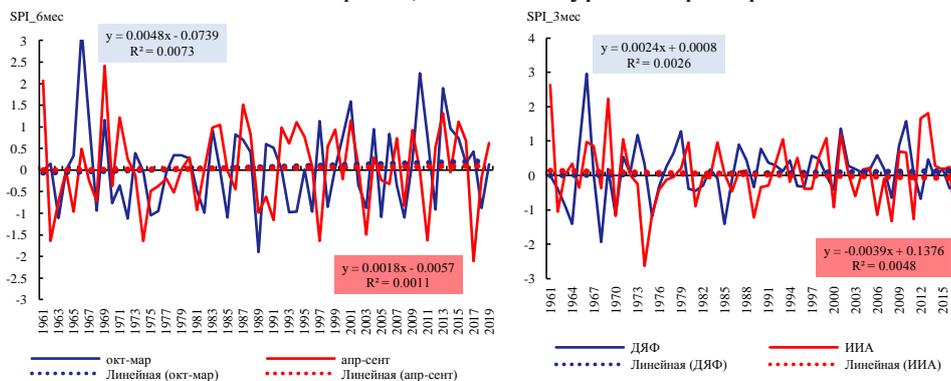


Рис. 4. Изменения стандартизованного индекса осадков (SPI) за период 1961...2019 гг. для 6-месячных (а) и 3-месячных (б) временных масштабов по метеостанциям на территории Ертисского бассейна.

Для территории Ертисского бассейна также были оценены изменения в повторяемости различных условий увлажнений в соответствии с градациями SPI в различные месяцы года и в 3-х и 6-ти месячные скользящие

интервалы за два последовательных периода: 1961...1990 гг. и 1991...2019 гг. Результаты оценки по данным отдельных метеостанций, расположенных в различных физико-географических условиях на казахстанской территории Ертисского бассейна представлены для примера на рис. 5...7.

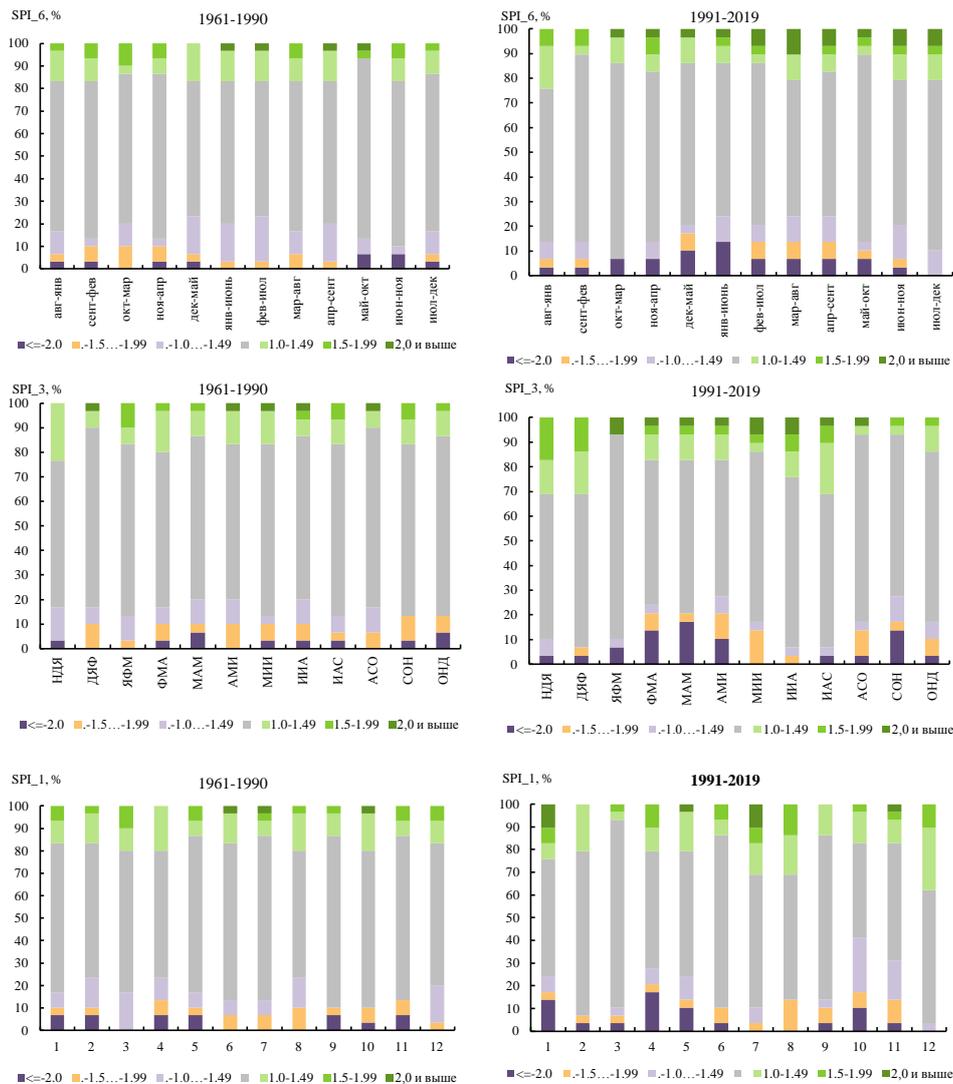


Рис. 5. Повторяемость (%) различных условий увлажнений в соответствии с градами SPI в различные месяцы года (SPI-1) и в 3-х и 6-ти месячные скользящие интервалы по данным М Екибастуз (228 м над ур. м., Северная часть Казахского мелкосопочника) на территории Ертисского бассейна за два последовательных периода: 1961...1990 гг. и 1991...2019 гг.

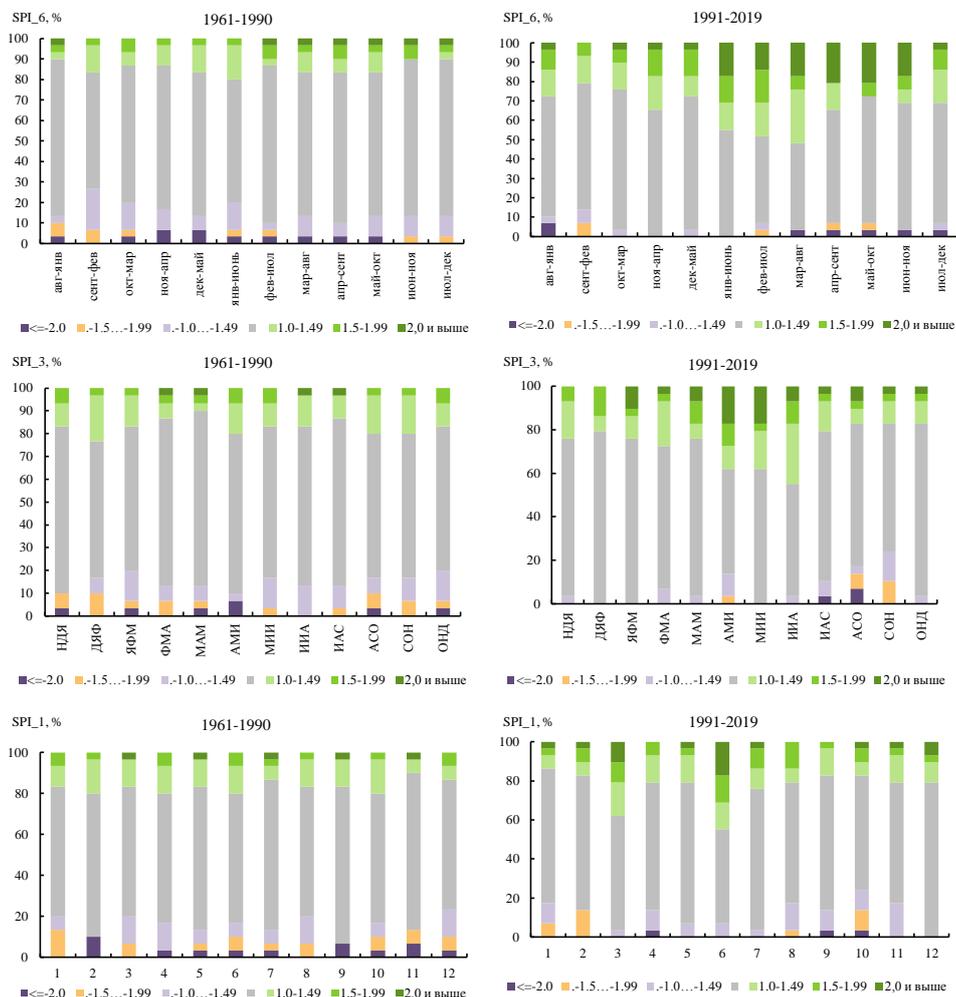


Рис. 6. Повторяемость (%) различных условий увлажнений в соответствии с градами SPI в различные месяцы года (SPI-1) и в 3-х и 6-ти месячные скользящие интервалы по данным М Павлодар (120 м над ур. м., Кулундинская равнина) на территории Ертысского бассейна за два последовательных периода: 1961...1990 гг. и 1991...2019 гг.

Результаты указывают, что в период 1991...2019 гг. относительно предшествующего периода 1961...1990 гг. в большинстве регионов существенных изменений в условиях увлажнения сезонов не произошло. Можно лишь отметить некоторые регионы с изменениями: уменьшилось количество засушливых сезонов, и наоборот, увеличилась повторяемость более влажных сезонов в предгорье хр. Тарбагатай (по данным МС Бакты), в предгорьях хр. Саур (по данным МС Зайсан, Зайсанская котловина). В

районе хр. Нарын (по данным М Катон-Карагай, 1081 м над ур.м.) и в Северной части Казахского мелкосопочника (по данным МС Екибастуз) произошло увеличение повторяемости периодов как с более влажными условиями, так и с более засушливыми. На Кулундинской равнине по данным МС Павлодар несколько увеличилась повторяемость более влажных сезонов. В предгорье Рудного Алтая по данным МС Шемонаиха увеличилась повторяемость более сухих сезонов.

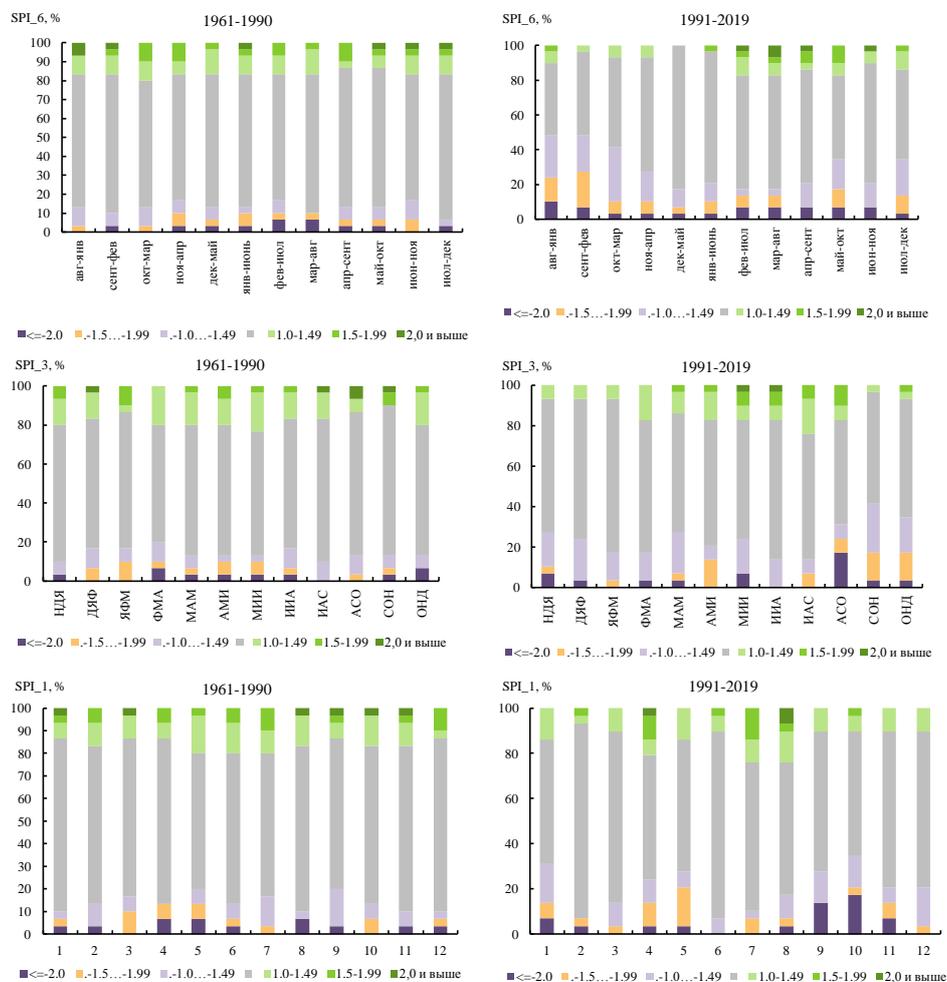


Рис. 7. Повторяемость (%) различных условий увлажнений в соответствии с градациями SPI в различные месяцы года (SPI-1) и в 3-х и 6-ти месячные скользящие интервалы по данным М Шемонаиха (329 м над ур. м., Алтайский горный район; предгорье) на территории Ертысского бассейна за два последовательных периода: 1961 ...1990 гг. и 1991 ...2019 гг.

Заключение. Проведенное исследование, выполненное на основе максимально полных данных о стихийных метеорологических явлениях на казахстанской территории Ертисского бассейна, позволило определить их повторяемость и изменение в условиях изменения глобального и регионального климата. Наибольшую повторяемость имеют сильный ветер, затем по убыванию – сильная метель и сильный дождь 30 мм и более в сельских и ливнеопасных районах. Максимум стихийных явлений наблюдается в зимний период, второй максимум – в весенне-летний период, минимум – в сентябре-октябре. В 21-м веке общее число случаев со стихийными явлениями уменьшилось на 26 %, по сравнению с периодом 1981...2000 гг., в основном, за счет уменьшения случаев сильной метели и сильного ветра. Исследование изменений условий увлажнения в различные сезоны года с использованием стандартизированного индекса осадков показало, что на территории Ертисского бассейна есть регионы и сезоны, где условия улучшились, и, наоборот – ухудшились. Это говорит о необходимости учитывать характер этих тенденций в зависимости от того, влияние на какой сектор экономики и природный ресурс будет изучаться в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирный экономический форум. Отчет о глобальных рисках в 2020 году. – URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf. (дата обращения 20.03.2021)
2. Глобальное потепление на 1,5 °C: – Специальный доклад о последствиях глобального потепления на 1,5 °C выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте укрепления глобального реагирования на угрозу изменения климата, а также устойчивого развития и усилий по искоренению бедности / ВМО. – Женева: Швейцария, 2018. – 163 с.
3. Гордеев А.В., Клещенко А.Д. и др. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 512 с.
4. Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.И. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 310 с.
5. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 158 с.
6. Ежегодный бюллетень мониторинга изменения и состояния климата Казахстана: 2019 год. – Астана, 2020. – 61 с.

7. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2019 году // Женева, 2020. – ВМО – № 1248. – 44 с.
8. Изменение климата, 2014 г.: Воздействия, адаптация и уязвимость. Резюме. Часто задаваемые вопросы и перекрестные вставки по главам. Вклад Рабочей группы II в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. К.Б. Филд, В.Р. Баррос, Д.Дж. Доккен, К.Дж. Мак, М.Д. Мастрандреа, Т. Е. Билир, М. Чаттерджи, К.Л. Эби, Й.О. Эстрада, Р.К. Дженова, Б. Джирма, Е. С. Киссел, А. Н. Леви, С. Маккракен, П. Р. Мастрандреа и Л. Л. Уайт / МГЭИК. – Женева, Швейцария, 2014. – 222 с.
9. Климатические и циркуляционные характеристики засух на территории СССР. Справочное пособие. – Москва: Гидрометеиздат, 1977. – С. 12-20.
10. М. Свобода, М. Хайес и Д. Вуд. Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков // ВМО, Женева. – 2012. – № 1090. – 36 с.
11. Методические указания по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации. Часть 1. Метеорологическая информация неавтоматизированных метеорологических станций. Казгидромет, Алматы. – 2006. – С. 96.
12. Мещерская А.В. Индекс засухи и урожайность зерновых культур // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 2. – С. 91-98.
13. Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. – М.: Госпланиздат, 1949. – 65 с.
14. Оценка управления и смягчения эффектов для стран Центральной Азии и Кавказа. Засуха. / Отчет Всемирного банка. – 2005. – Инв. № 31998-ЕСА. – 306 с.
15. Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып.156. – С. 19-38.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.15. Вып. 1, 2. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 320 с.
17. Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 344 с.
18. Чирков Ю.И. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 320 с.
19. Alley, W.M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. // Journal of Climate and Applied Meteorology. – 1984. – Vol. 23. – P. 1100-1109.
20. Aslam A.Q., Ahmad S.R., Ahmad I., Hussain Y., Hussain M.S. Vulnerability and impact assessment of extreme climatic event: A case study of south-

- ern Punjab, Pakistan // *Science of the Total Environment*, 2016. – Vol. N 580. – P. 468-481. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.155>. – (дата обращения: 09.02.2019)
21. Coumou D., Di Capua G., Vavrus S. et al. The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation. // *Nat Commun*, 2018. – Vol. 9(2959). – P. 1-12. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05256-8>. – (дата обращения: 09.07.202)
 22. Huang J.P., Yu H.P., Dai A.G., Wei Y., Kang L.T. Dry lands face potential threat under 2 °C global warming target // *Nature Climate Change*. – 2017. – Vol. N 7. – P. 417-422.
 23. IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press. – Cambridge. – UK and New York, NY, USA. – 582 p.
 24. King A.D., Karoly D.J., Henley B.J. Australian climate extremes at 1,5 °C and 2 °C of global warming // *Nature Climate Change*. – 2017. – Vol. N 7. – P. 412-416. – URL: <https://doi.org/10.1038/nclimate3296> (дата обращения 07.05.2021).
 25. Lehner F., Coats S., Stocker T.F., Pendergrass A.G., Sanderson B., Raible C.C., Smerdon, J.E. Projected drought risk in 1,5 °C and 2 °C warmer climates. // *Geophysical Research Letters*. – 2017. – Vol. 44(14). – P. 7419-7428. URL: <https://doi.org/10.1002/2017GL074117> (дата обращения 10.05.2021).
 26. McKee T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist The relationship of drought frequency and duration to time scales // *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology 17-22 January, 1993*. – Anaheim, CA. – P.179-184.
 27. Piras M., Mascaro G., Deidda R., Vivoni, E.R. Impacts of climat. change on precipitation and discharge extremes through the use of statistical downscaling approaches in a Mediterranean basin. // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 543(Pt B). – P. 952-964. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.088>. – (дата обращения: 17.01.2019)
 28. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth As-*

essment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. - 1535 p.

29. UNDRR, 2019: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction // Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). – 2019. – 425 p. ISBN/ISSN/DOI 978-92-1-004180-5.
30. World Meteorological Organization Current Extreme Weather Events // WMO. – 2010. –
URL: www.wmo.int/pages/mediacentre/news/extremeweathersequence_en.html. – (дата обращения: 17.01.2019)

Поступила 15.11.2020 г.

Геогр. ғылым. кандидаты

С.А. Долгих
Е.Ю. Смирнова

**ЕРТІС БАССЕЙНІ ТЕРРИТОРИЯСЫНДАҒЫ ҚОЛАЙСЫЗ
ЖӘНЕ ЭКСТРЕМАЛЬДІ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ
ҚҰБЫЛЫСТАРДЫҢ ҚАЙТАЛАНУШЫЛЫҒЫНЫҢ
ӨЗГЕРІСІ ТУРАЛЫ**

Түйін сөздер: қолайсыз, экстремальді метеорологиялық құбылыстар, өзгергіштік, климат өзгерісі, Ертіс бассейні

Жаһандық климаттың өзгеруі барысында трансшекаралық Ертіс өзені бассейнінің қазақстандық бөлігінде қолайсыз және экстремальды метеорологиялық құбылыстарының қайталанушылығына екі рет қатарынан бағалау жүргізілді: 1981...2000 жж. және 2001...2019 жж.

S. Dolgikh, Ye. Smirnova

**ON CHANGES IN THE REPEATABILITY OF ADVERSE AND
EXTREME METEOROLOGICAL EVENTS IN THE TERRITORY
OF THE ERTIS BASIN**

Key words: adverse events, extreme meteorological events, variability, climate change, Ertis river basin

An assessment of the frequency of adverse and extreme meteorological phenomena in the Kazakh part of the transboundary basin of the Ertis river for two consecutive periods 1981...2000 and 2001...2019 in a changing global climate was carried out.