

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КАСПИЙСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Сафаров С.Г.¹, Сафаров Э.С.¹, Гусейнов Дж.С.², Исмайылова Н.Н.³

¹Институт Географии им. акад. Г. Алиева НАНА, Баку, AZ1143, Азербайджан,
e-mail: safarov53@mail.ru

²ЗАО Азербайджан Хава Йоллары, Азераэронавигация УВД, Баку, Азербайджан,
³Национальная Служба Гидрометеорологии МЭПР Азербайджана,

Баку, Азербайджан,

Статья поступила в редакцию 15.01.2020, одобрена к печати 31.03.2020

В статье, по данным наблюдений 10 гидрометеорологических станций за 1961–2017 гг., исследовано изменение режима атмосферных осадков в Азербайджанской части Каспийского побережья, а также на морских островных станциях Чилов и Нефт Дашилары. Показано, что на фоне глобального и регионального потепления на большей части побережья наблюдается увеличение количества атмосферных осадков, а на морских станциях – уменьшение. Наиболее значительное увеличение осадков наблюдается в г. Баку. По данным исследования, выявлен рост повторяемости интенсивных осадков в г. Баку, особенно в осенний период года. Показано, что этот процесс носит острый характер и приводит к различным проблемам, в том числе к активации оползневых процессов.

Ключевые слова: атмосферные осадки, аномалии осадков, экстремумы осадков, климатические изменения, оползни

Введение

Как известно, в последние годы в большинстве стран мира наблюдается повышение температуры воздуха, однако в различных местах оно проявляется несколько по-разному (МЭПР, 2015). К примеру, в 1991–2017 гг., по сравнению с климатическими нормами за 1961–1990 гг., в различных местах Азербайджана повышение среднегодовой температуры воздуха составило 0.6–1.1°C (Сафаров и др., 2018), а на Каспийском побережье – 0.6–0.8°C (Safarov et al., 2018). Следует отметить, что за последние 10–15 лет потепление происходит еще более быстрыми темпами. К примеру, для побережья повышение температуры за данный период составляет 0.9–1.2°C (Safarov et al., 2018).

Температура воздуха является важнейшей характеристикой климата, поэтому изменение ее статистических характеристик может привести к перестройке процессов тепло- и влагообмена в атмосфере, что, в свою очередь, повлияет на процессы осадкообразования. Нередко такое влияние приводит к увеличению количества природных катализмов – тайфунов и торнадо, засухи и паводков, градобития и оползней и т.д. Поэтому исследовать изменения в режиме атмосферных осадков в различных регионах республики так важно (Mammadov et al., 2009).

Вопросам количества и особенностей выпадения осадков на территории Азербайджана и их изменениям в различные периоды времени посвящен ряд исследовательских работ (Сафаров, Махмудов, 2011; Махмудов, 2015; Сафаров, 2012; Mammadov et al., 2009), где были проанализированы различные аспекты данной проблемы. В этих работах установлено, что на фоне значительного повышения температуры воздуха на большей части республики, особенно на равнинных территориях, наблюдается значительное сокращение объема осадков, которое приводит к засухе и создает серьезные проблемы в сельском хозяйстве, экологии, водоснабжении и т.д. Наоборот, некоторое увеличение осадков наблюдается в отдельных местах южного склона Большого Кавказа. Изменения в режиме осадков проявляются не только в увеличении или же в уменьшении их количества, но и в повторяемости случаев с интенсивными осадками, которые в большинстве своем сопровождаются опасными явлениями, такими, как град, наводнения, селевые потоки и т.п. К примеру, в последние годы в западной части Азербайджана, несмотря на общее уменьшение количества осадков, наблюдается увеличение числа дней с интенсивными осадками и градом (Safarov et al., 2017). Следует отметить, что аналогичные процессы наблюдаются и в ряде других регионов мира (Алешина и др., 2018; Торопов и др., 2019). В холодный период года на Апшеронском полуострове, особенно в г. Баку, участились случаи выпадения интенсивных осадков, в результате которых нанесен значительный ущерб городской инфраструктуре, и активизировались оползневые процессы. По этой же причине большой интерес представляет изучение изменения режима осадков на Каспийском побережье Азербайджана. Расположение на данной территории г. Баку и третьего по величине города Сумгайит повышает актуальность данной проблемы. С другой стороны, так как атмосферные осадки являются одним из важных элементов водного баланса Каспийского моря, их изменения могут влиять на колебание уровня моря.

Режим осадков зависит от влагосодержания воздуха, степени насыщения его водяным паром, интенсивности испарения, загрязнения атмосферы, рельефа территории и от характера атмосферной циркуляции (Климат Баку, 1988). На режим осадков рассматриваемой территории и его пространственно-временное распределение также значительно влияет взаимодействие вторгающихся воздушных потоков с рельефом местности и непосредственно Каспийским морем (Климат Азербайджана, 1968).

Материалы и методы исследования

В работе, по данным наблюдений 10 гидрометеорологических станций (Хачмаз, Сумгайыт, Баку, Маштага, Чилов, Пираллахы, Нефт Дашлары, Алят, Нефтчала, Ленкорань и Астара), за 1961–2017 гг. исследуется характер изменения режима атмосферных осадков в Азербайджанской части Каспийского побережья. Основные характеристики станций наблюдений указаны в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики гидрометеорологических станций

Станция	Высота расположения станции, м	Продолжительность рядов наблюдений, использованных в данной работе, гг.	Климатические нормы осадков (1961–1990 гг.), мм
Хачмаз	27	1991–2017	306.8
Сумгайыт	–20	1961–2017	225.4
Баку	81	1961–1964; 1966–2017	234.5
Маштага	27	1962–1964; 1966–1969; 1972–2017	276.8
Пираллахы	–25	1961–1964; 1966–1969; 1972–2017	194.3
Чилов	–17	1961–1964; 1966–1969; 1972–2017	171.1
Нефт Дашлары	–17	1961–1964; 1966–1969; 1972–2017	155.5
Алят	–18	1993–2017	218.0
Нефтчала	–24	1991–2017	298.2
Ленкорань	–20	1961–2017	1205.2
Астара	–23	1961–2017	1314.2

В качестве климатических норм осадков были использованы среднестатистические данные за период 1961–1990 гг. (Халилов, Сафаров, 2001). Данные наблюдений за период 1991–2017 гг. взяты из базы данных Национального Департамента по Гидрометеорологии Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджана. По этим данным для всех рассматриваемых станций рассчитаны среднемесячные, среднесезонные и среднегодовые суммы осадков, их аномалии и значения стандартных отклонений для периодов 1961–1990, 1961–2017, 1991–2017 и 2005–2017 гг. Также проведена относительная оценка аномалий в процентах от нормы:

$$[(R - R_n) / R_n] \cdot 100\%,$$

где R – среднегодовое или же среднемесячное количество осадков для рассматриваемого периода, R_n – климатическая норма осадков.

С целью определения тенденции изменения осадков для каждой станции построены графики их временных ходов, проанализированы линейные и полиномиальные тренды.

По значениям среднегодовых осадков и их стандартных отклонений выявлены функции распределения и рассчитаны максимальные количества осадков 5% и 1% обеспеченности, по следующим формулам (Иманов, 2011):

$$x_{95} = t_{95}\sigma + \bar{x}, \quad (1)$$

$$x_{99} = t_{99}\sigma + \bar{x}, \quad (2)$$

где x_{95} и x_{99} – максимальные количества осадков соответственно 5% и 1% обеспеченности, t_{95} и t_{99} – квантили нормально распределенной случайной величины, σ – стандартные отклонения, \bar{x} – среднегодовые количества осадков.

Для анализа статистической значимости аномалий осадков использовали t критерий Стьюдента.

Карты-схемы распределения среднегодовых аномалий осадков (относительно к норме) по рассматриваемой территории построены с помощью программного обеспечения ArcGIS. Наряду с этим, для различных периодов времени сравнивались средние числа дней с количествами осадков, превышающими 10, 15, 20, 25 и 30 мм.

С целью изучения возможного влияния изменений температуры поверхности моря (ТПМ) на режим осадков рассчитаны соответствующие коэффициенты корреляции. Пространственно осредненные (по глубоководной части исследуемого морского пространства) данные реанализа NCEP/NCAR о ТПМ за период 1982–2019 гг. получены на сайте <https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-79bin/data/timeseries/timeseries1.pl>.

Результаты исследования и их обсуждение

Основное отличие осадков от других метеопараметров состоит в их пространственно-временной неоднородности и высокой степени фрагментации. Как видно из таблицы 1, наименьшие осадки выпадают на морских станциях, а наибольшие – в Ленкоране и Астаре. Как видно из таблицы, осадки увеличиваются по мере удаления от морского побережья и роста высоты местности относительно уровня моря. Однако в Ленкоранском сегменте зональный характер распределения осадков нарушается и приобретает обратный характер (Климат Азербайджана, 1968; Сафаров, 2012).

Как видно из рис. 1, во временных изменениях годовых осадков наблюдаются различные тенденции. Особый интерес представляет статистически значимый положительный линейный тренд для ст. Баку и отрицательный тренд для морской станции Чилов. Следует отметить, что значимый отрицательный линейный тренд также наблюдается для морской станции Нефт Дашлары. Для ст. Сумгайит и Маштага (рис. 1 и таблица 2), а также для остальных станций при уровне 5% линейные тренды не являются значимыми.

Также проведена полиномиальная аппроксимация вышеуказанных рядов годовых осадков со степенью 3–4 для станций, длина рядов которых относительно велика (56–57 лет). Как видно из рис. 1 и таблицы 2, полиномиальная аппроксимация лучше, чем линейный тренд соответствует характеру изменчивости осадков.

Таблица 2. Значения коэффициентов детерминации R^2 для линейных трендов и полиномиальных аппроксимаций временного хода годового количества осадков по отдельным гидрометеорологическим станциям Апшеронского полуострова за период 1991–2017 гг.

Станции	Коэффициент детерминации R^2			
	Для линейных трендов		Для полиномиальных аппроксимаций	
Баку	0.1704	Имеется положительная тенденция	0.3939	Имеется тренд
Маштага	0.0077	Связь отсутствует	0.1981	Имеется положительная тенденция
Сумгайит	2E-06	Связь отсутствует	0.0617	Связь отсутствует
Чилов	0.1702	Имеется отрицательная тенденция	0.229	Имеется отрицательная тенденция

Представленные на рис. 1 линейные тренды и полиномиальные аппроксимации указывают на нелинейный характер и периодичность изменчивости атмосферных осадков. Выделено два временных интервала продолжительностью в среднем 20–25 лет с разнонаправленными тенденциями изменений годового количества осадков.

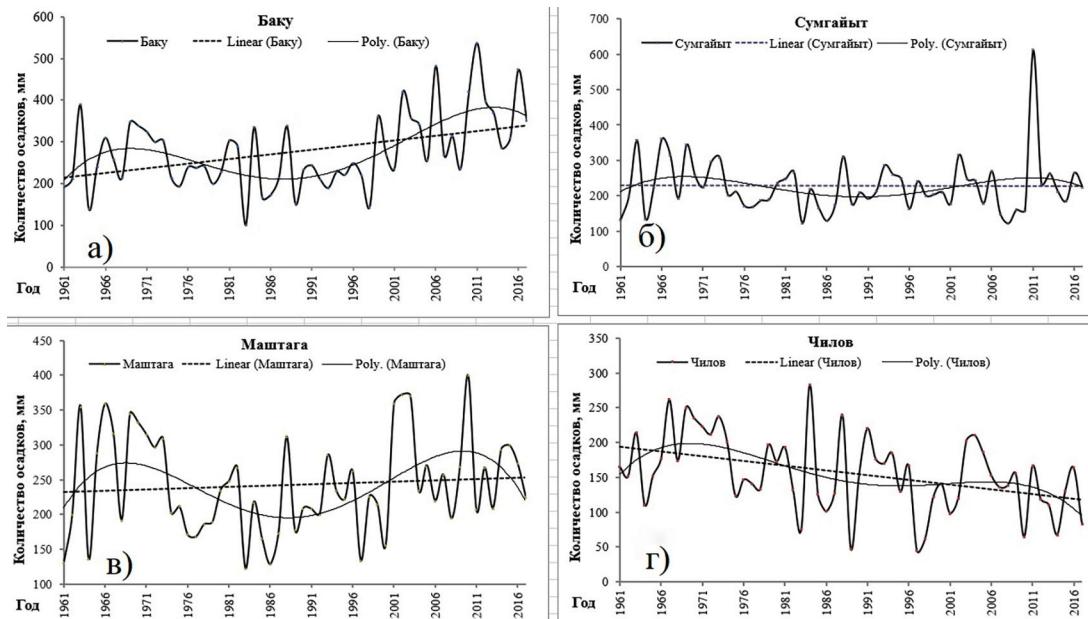


Рис. 1. Временной ход годового количества осадков для станций: а – Баку, б – Сумгайит, в – Маштага, г – Чилов за период 1961–2017 гг.

В таблице 3 представлены среднегодовые и среднемесячные аномалии осадков за период 1991–2017 гг. Как видно из этой таблицы, на Апшеронском полуострове и севернее от него на побережье наблюдается увеличение, а южнее – уменьшение среднегодовых осадков. На морских станциях Нефт Дашлары и Чилов также наблюдается значительное уменьшение осадков.

Таблица 3. Среднемесячные и среднегодовые аномалии осадков (мм) за период 1991–2017 гг. и их относительные значения в % от климатической нормы 1961–1990 гг.

Станции	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Хачмаз	-0.2	7.5	0.4	-5.8	-5.5	-2.3	4.8	-1.6	5.9	10.0	0.1	1.0	14.4
	-0.7	30.5	1.9	-19.0	-21.1	-12.9	40.5	-10.9	18.2	27.4	0.2	3.1	4.7
Сумгайыт	-4.2	3.5	-1.8	-2.5	-4.5	-1.3	0.7	-1.3	7.4	6.6	4.2	0.1	6.4
	-15.2	16.4	-9.2	-11.1	-24.7	-13.7	31.7	-34.3	41.0	24.4	17.8	0.6	3.1
Баку	13.4*	13.5*	0.3	0.2	-7.3	0.9	2.3	-1.9	16.4*	16.2*	8.6	15.8*	78.3*
	57.0	60.7	1.3	1.0	-37.2	8.6	95.1	-31.1	95.1	57.7	29.4	53.5	33.4
Маштага	3.3	5.4	-5.8	-3.2	-8.5	-1.8	3.0	-1.9	12.7*	1.0	5.6	2.4	12.5
	12.3	22.5	-21.9	-13.1	-41.1	-21.3	123.1	-22.9	56.7	2.6	14.8	7.6	4.5
Пираллахы	-0.7	3.7	-4.2	-1.0	-7.7	-1.3	2.4	-2.3	5.3	4.5	4.1	2.9	5.6
	-3.8	21.4	-18.7	-5.4	-49.2	-19.2	150.5	-44.1	35.8	19.0	16.9	11.6	2.9
Чилов	-1.5	-6.3*	-8.7*	-4.1	-6.2	-0.9	0.2	-2.8	2.2	-6.7	3.0	-3.9	-35.3*
	-8.8	-36.2	-43.0	-19.7	-55.7	-35.9	11.0	-66.7	23.0	-28.9	15.6	-17.3	-21.1
Нефт Дашлары	-4.7	-4.0	-7.4*	-5.4	-8.5*	-2.5	-0.5	-2.9	1.9	-2.6	-0.6	-9.3*	-46.6*
	-29.2	-27.9	-43.3	-30.9	-64.1	-58.6	-23.6	-66.7	25.8	-13.8	-3.4	-44.8	-30.0
Алят	-2.1	-3.0	-1.8	-13.8*	-6.9*	-4.2	-1.4	-5.2*	5.1	1.1	4.0	-3.4	-31.6*
	-11.8	-12.7	-7.0	-42.2	-34.8	-35.2	-48.3	-67.6	44.5	4.2	13.8	-13.9	-13.8
Нефчала	1.5	-1.1	-1.5	-9.0	-12.7*	-4.3	-1.1	-0.7	13.3*	1.5	-6.9	0.2	-20.9
	7.2	-6.1	-2.7	-29.1	-47.1	-36.9	-38.6	-15.2	74.9	1.4	-11.5	0.0	-7.4
Ленкорань	-14.5	-2.9	-13.5	3.8	-5.4	-16.7	12.1	0	-2.1	5.9	7.0	3.9	-22.7
	-15.1	-2.7	-13.7	6.8	-11.8	-38.0	86.8	0	-1.2	2.3	4.1	3.7	-1.9
Астара	-10.1	3.1	-20.1	-1.5	-7.7	-6.8	-0.4	-24.4	-13.0	-32.2	29.9	-10.3	-93.4
	-10.2	3.3	-18.0	-2.4	-15.2	-14.8	-1.1	-29.6	-6.6	-11.8	19.2	-9.7	-7.1

Примечание: Процентные от нормы значения аномалий указаны жирным шрифтом;

* – статистически значимые аномалии на уровне 5% по критерию Стьюдента.

Карта-схема распределения аномалий среднегодовых осадков, выраженных в процентах от нормы, по рассматриваемой территории, построена в программном обеспечении ArcGIS, методом IDW интерполяция (рис. 2). Как видно из рисунка, для всех станций Абшеронского полуострова, а также для ст. Хачмаз, наблюдается некоторое увеличение осадков, однако наиболее значительный рост отмечается на ст. Баку. На остальных станциях наблюдается уменьшение осадков, наиболее низкие показатели отмечены на морских станциях.

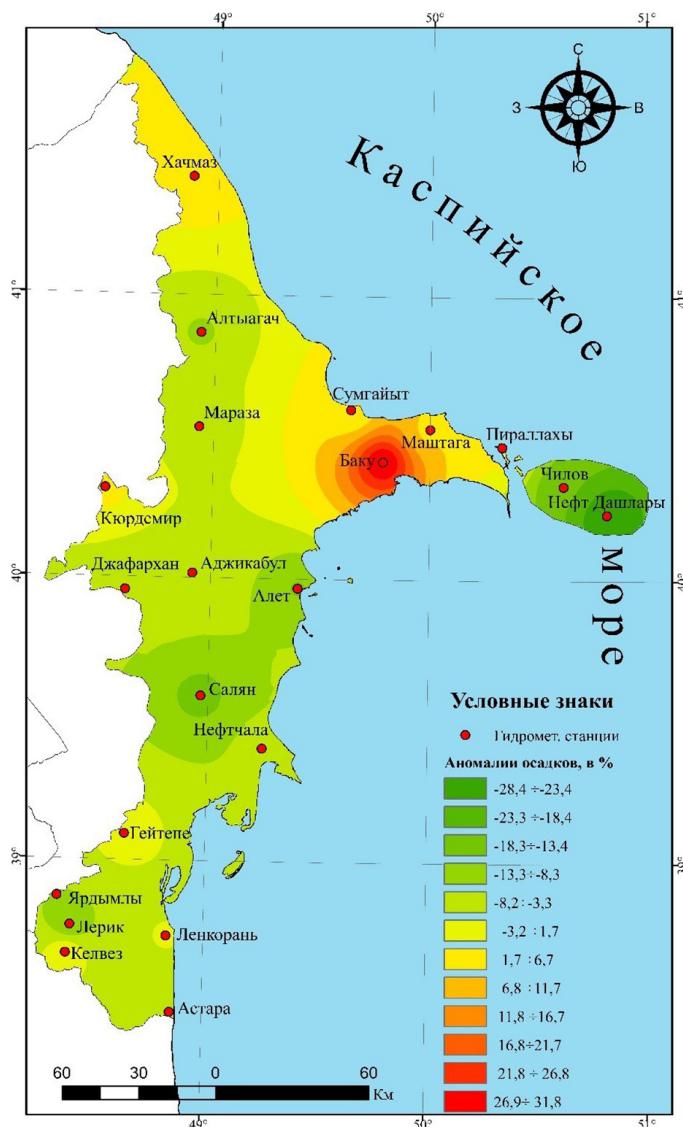


Рис. 2. Карта-схема распределения среднегодовых аномалий осадков (в процентах от климатической нормы) по Каспийскому побережью Азербайджана за период 1991–2017 гг.

Однако, чтобы представить масштабы естественной изменчивости осадков, необходимо оценить функцию их распределения, которая при нормальном (гауссовом) распределении, характеризуется средним значением и стандартным отклонением.

В таблице 4 для ст. Баку, где наблюдается наибольшее увеличение, а также для ст. Чилов, где наблюдается значительное уменьшение осадков, показаны значения статистических характеристик временных рядов для различных периодов времени.

Как видно из таблицы 4, в отличие от рядов месячных осадков, для годовых осадков их среднегодовые значения значительно больше, чем их стандартные отклонения. Поэтому временные ряды годовых осадков могут быть представлены нормальным гауссовым распределением.

Таблица 4. Статистические характеристики временных рядов атмосферных осадков для ст. Баку и Чилов за различные периоды времени

Станция Баку 1961–1990 гг.													
Характеристики рядов	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ММ	23.5	22.2	23.6	23.1	19.7	10.0	2.4	6.1	17.2	28.1	29.2	29.6	234.7
σ , мм	17.9	17.3	19.3	19.0	22.1	11.5	2.9	11.9	15.6	19.2	18.5	19.3	71.7
Max, мм	65.4	61	83	86.3	105.5	53.8	9.5	44	56.5	76.6	75.8	81.4	388.9
Min, мм	0.1	0.6	2.4	1.3	0.1	0	0	0	0	0	4	3	96.3
Станция Баку 1991–2017 гг.													
ММ	36.9	35.7	23.9	23.3	12.4	10.9	4.7	4.2	33.6	44.3	37.8	45.4	313.0
σ , мм	27.2	22.7	18.2	16.6	11.1	9.2	6.2	5.9	30.5	26.2	37.3	26.3	93.6
Max, мм	125.2	88.5	68.2	55.9	39.4	30.2	25.8	27.6	139.1	102.7	159.5	85.6	577.0
Min, мм	4.5	3.5	1.9	0.2	0.1	0	0	0	0	1.2	1.6	0	146.9
Станция Баку 1961–2017 гг.													
ММ	29.3	29.4	23.1	22.8	16.4	9.9	3.4	4.8	25.4	34.2	36.7	31.3	265.6
σ , мм	23.3	20.6	18.6	17.7	17.9	10.4	4.9	9.7	24.8	23.9	29.4	23.4	87.8
Max, мм	125.2	88.5	83	86.3	105.5	53.8	25.8	44	139.1	102.7	159.5	85.6	577.0
Min, мм	0.1	0.6	1.9	0.2	0.1	0	0	0	0	0	1.6	0	96.3
Станция Чилов 1961–1990 гг.													
ММ	16.7	17.3	20.2	18.0	13.4	4.7	2.1	4.2	9.6	23.2	19.2	22.5	171.1
σ , мм	11.0	11.6	18.9	14.4	13.6	7.2	3.4	9.4	9.9	21.7	17.1	18.5	54.8
Max, мм	45.6	49.8	64.1	68.7	52.9	29.7	13	33.9	29.3	99.5	78.2	85	289.9
Min, мм	0.7	0.6	4.4	0	0.3	0	0	0	0	0	0	3.6	75.9
Станция Чилов 1991–2017 гг.													
ММ	15.4	11.0	11.6	13.9	7.2	3.8	2.4	1.4	11.8	16.5	22.2	18.6	135.8
σ , мм	14.6	8.4	10.0	14.0	10.4	5.1	3.5	2.6	12.1	14.9	18.6	19.2	48.7
Max, мм	66.5	33.9	27.8	50.4	49.6	21.5	14.5	10.5	49	47.6	80.7	86.7	212.4
Min, мм	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	46.4
Станция Чилов 1961–2017 гг.													
ММ	14.9	14.5	16.5	15.8	10.2	4.3	2.5	3.2	11.0	19.8	22.4	21.1	153.0
σ , мм	12.8	10.6	15.8	14.2	12.4	6.2	3.4	6.9	11.0	18.6	17.8	18.8	56.9
Max, мм	66.5	49.8	64.1	68.7	52.9	29.7	14.5	33.9	49	99.5	80.7	86.7	289.9
Min, мм	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46.4

Примечания: \bar{x} – среднегодовые осадки; σ – стандартные отклонения; Max – максимальные осадки; Min – минимальные осадки.

Об изменениях режима осадков свидетельствуют сравнения значений среднегодовых осадков и их стандартных отклонений, а также экстремальных значений осадков для различных периодов (таблица 4).

Так как годовые осадки могут быть представлены нормальным гауссовым распределением, для каждой станции по известным формулам (1) и (2) рассчитаны максимальные годовые количества осадков 5% и 1% обеспеченности. Результаты расчетов показаны в таблице 5, из которой следует, что для рассматриваемых периодов осадки 5 и 1% обеспеченности значительно изменились, что также может свидетельствовать об изменениях в режиме осадков.

Таблица 5. Годовые количества осадков 5% и 1% обеспеченности для различных станций наблюдений

Станции наблюдения	Рассматриваемые периоды											
	1961–1990 гг.			1991–2017 гг.			1961–2017 гг.					
	\bar{x} , мм	σ , мм	осадки с обеспеченностью, мм	\bar{x} , мм	σ , мм	осадки с обеспеченностью, мм	\bar{x} , мм	σ , мм	осадки с обеспеченностью, мм			
			5% 1%			5% 1%			5% 1%			
Сумгайт	224.5	68.9	337.5 385.0	231.4	88.8	377.0 438.3	226.8	78.3	354.4 409.2			
Баку	234.5	70.9	350.8 399.7	313.1	93.6	449.6 514.2	265.6	87.8	408.7 470.2			
Маштага	276.8	84.5	415.4 473.7	289	77.8	416.6 470.3	283.9	83.2	419.5 477.8			
Пираллахы	194.3	61.8	295.7 338.3	202	61.1	302.2 344.4	198.7	60.1	296.7 338.7			
Чилов	171.1	54.8	261.0 298.8	136.7	48.7	216.6 250.2	153.0	54.1	241.2 279.1			
Нефт Дашлары	155.5	66.3	264.2 310.0	108.9	41.3	176.6 205.1	135	60.4	233.5 275.7			
Астара	1314	276	1767 1957	1221	216	1575 1724	1275	251.8	1686 1862			

Наряду с изменениями годовых осадков, также большой интерес представляют изменения в количестве осадков в различные месяцы. Однако, как видно из таблицы 4, относительно большие значения стандартных отклонений не позволяют рассматривать их как нормально распределенные. Статистическая значимость среднемесячных аномалий осадков для различных периодов времени при уровне $p = 0.05$ проверена критериями Стьюдента (таблица 3).

В январе, за исключением ст. Маштага и Баку, где наблюдалось статистически значимое увеличение осадков, в остальных станциях отмечено уменьшение. В феврале на Апшеронском полуострове и на побережьях к северу от него отмечается значительное увеличение (на ст. Баку статистически значимое), а на морских и южных станциях – некоторое уменьшение осадков (на ст. Чилов значимое).

В марте, апреле и мае практически для всех анализируемых станций отмечается уменьшение осадков, однако в мае показатель этого уменьшения наиболее значительный. В марте статистически значимые уменьшения наблюдались только на морских станциях, в апреле – на ст. Алят, а в мае – на ст. Нефт Дашлары, Алят и Нефтчала.

В июне в основном наблюдалось уменьшение, в июле на большинстве станций отмечалось некоторое увеличение, а в августе на всех станциях – уменьшение. Однако в летние месяцы, только в августе, на станции Алят отмечено статистически значимое уменьшение.

В сентябре, за исключением ст. Ленкорань и Астара, на остальных станциях наблюдалось увеличение осадков, однако наибольшие положительные и статистически значимые аномалии зафиксированы на ст. Баку, Маштага и Нефтчала.

В октябре, за исключением морских станций, на остальных станциях наблюдалось увеличение осадков, однако статистически значимая аномалия выделена только на ст. Баку.

В ноябре практически на всех станциях отмечено увеличение осадков, однако при рассматриваемом уровне значимости, аномалии осадков не оказались статистически значимыми.

В декабре на морских станциях наблюдалось уменьшение, а на Апшеронском полуострове зафиксировано увеличение осадков. На остальных станциях изменения были незначительными. На ст. Баку и Нефт Дашилары аномалии осадков оказались статистически значимыми.

С целью выявления более общих закономерностей в изменениях режима осадков целесообразно изучение распределения аномалий осадков по сезонам и полугодиям года.

Как видно из таблицы 6, зимой на Апшеронском полуострове и на прибрежных территориях к северу от него, в основном наблюдается увеличение осадков, а на морских и южных станциях – уменьшение. Однако статистически значимые аномалии осадков отмечены на ст. Баку (положительная) и на ст. Нефт Дашилары (отрицательная).

Таблица 6. Распределение аномалий осадков (мм) по сезонам и полугодиям за 1991–2017 гг.

Станции	Сезоны				Полугодия	
	Зима	Весна	Лето	Осень	Холодное	Теплое
Хачмаз	8.3(36.4)	-10.8(31.1)	0.8(23.3)	16.0(35.9)	24.3*(46.3)	-11.6(36.3)
Сумгайит	-0.9(28.0)	-8.7(28.4)	-2.0(21.6)	18.1(47.1)	17.2(57.0)	-10.7(47.3)
Баку	37.5*(51.4)	-8.8(30.0)	0.1(16.7)	48.6*(65.0)	86.1*(79.1)	-8.7(37.6)
Маштага	16.7(61.3)	-18.1*(29.5)	-0.5(12.6)	16.2(73.1)	32.9(74.9)	-18.6*(33.6)
Пираллахы	5.9(36.6)	-13.0(24.9)	-1.2(10.3)	13.9(44.3)	19.8(50.5)	-14.2(31.2)
Чилов	-9.4(29.0)	-19.7*(22.4)	-3.8(6.2)	-1.4(29.9)	-11.3(38.4)	-23.5*(48.4)
Нефт Дашилары	-17.1*(19.3)	-19.6*(18.7)	-5.8*(5.3)	-1.8(30.4)	-18.9*(35.7)	-25.4*(19.5)
Алят	-8.5(28.5)	-22.5*(24.1)	-10.8*(11)	10.2(36.5)	1.7(36.2)	-33.4*(37.8)
Нефтчала	0.6(30.7)	-23.2*(32.4)	-6.1(17.2)	7.9(68)	8.5(68.2)	-29.3*(37.7)
Ленкорань	-13.3(106.6)	-14.6(76.0)	-8.8(68.8)	0.9(188.7)	-12.4(227.5)	-23.4(105.1)
Астара	-7.5(95.4)	-28.9(80.7)	-33.9(72.8)	-14.5(169)	-22(101.2)	-48.3(206.3)

Примечание: 1) в скобках стандартные отклонения; 2)* – статистически значимые аномалии на уровне $p = 0.05$.

Весной на всех станциях наблюдается уменьшение количества осадков. При этом наиболее значительные уменьшения отмечаются на морских станциях, а также станциях к югу от Апшеронского полуострова, а наименьшие – на ст. Баку и Сумгайит. При этом статистически значимые уменьшения осадков наблюдались на ст. Маштага, Нефт Дашилары, Чилов, Алят и Нефтчала.

Летом на Апшеронском полуострове и на побережьях к северу от него объем осадков падает незначительно. Однако на морских и южных станциях наблюдаются более значительные их уменьшения. Для ст. Нефт Дашилары и Алят отрицательные аномалии осадков оказались статистически значимыми.

Осенью на Апшеронском полуострове и на прибрежных территориях к северу от него наблюдается значительное увеличение осадков. Наибольшее и статистически значимое увеличение осадков отмечено на станции Баку, однако в направлении к югу показатель увеличения постепенно убывает и на ст. Астара заменяется уменьшением.

Как видно из таблицы 6, в теплом полугодии (весной и летом) на всех станциях наблюдалось уменьшение количества осадков. Для большинства из них отрицательные аномалии оказались статистически значимыми. В холодном полугодии (осенью и зимой), за исключением морских станций, а также ст. Ленкорань и Астара, на остальных станциях отмечалось значительное увеличение осадков. Отмеченные для ст. Хачмаз и Баку положительные аномалии, а также для ст. Нефт Дашлары отрицательные аномалии, являются статистически значимыми.

Наряду с общими колебаниями в количестве осадков, также большой интерес представляет изучение изменений в повторяемости интенсивных осадков. Одним из путей изучения данного вопроса является сравнение числа дней с количеством осадков, превышающим 10, 15, 20, 25, 30 мм за различные периоды времени (рис. 3 и 4). Как видно из рис. 3, за период 1991–2017 гг., по сравнению с периодом 1961–1990 гг., число дней с количеством осадков, превышающим 10, 15, 20, 25, 30 мм, увеличивалось в 1.3–1.6 раза. За период 2005–2017 гг. соответствующие числа дней с интенсивными осадками увеличивались почти в 2 раза.

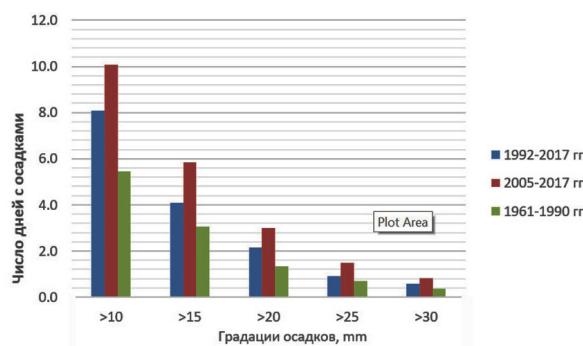


Рис. 3. Распределение среднегодового числа дней с осадками по различным градациям интенсивности для разных периодов времени (для ст. Баку).

Как видно из рис. 4а, увеличение количества осадков отмечается за осенне-зимний период. Наоборот, за весенне-летний период наблюдается их уменьшение. С другой стороны, если за период 1961–1990 гг. весной дни с количеством осадков, превышающими 25 и 30 мм, соответственно наблюдались раз в 4 года и 6 лет, то за период 1992–2017 гг. дни с осадками более 25 мм наблюдались редко, а более 30 мм не наблюдались совсем (рис. 4д, е).

Рис. 4д, е показывают, что большинство дней с количеством осадков, превышающим 25 и 30 мм, наблюдается в осенний период. Кроме этого, осенью за период 1991–2017 гг., по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг., число дней с осадками, превышающими 25 и 30 мм, соответственно увеличивалось в 2.2 и 2.7 раза (за период 2005–2017 гг. соответственно в 3, 5 и 4 раза).

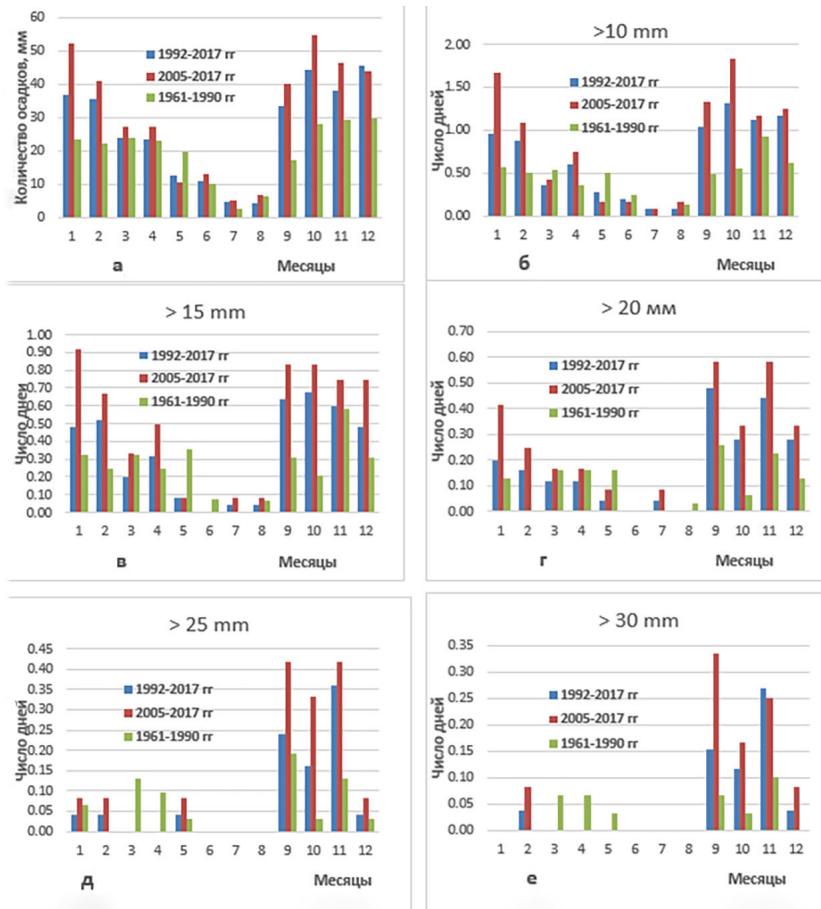


Рис. 4. а – распределение атмосферных осадков, б – дней с осадками, превышающими 10 мм, в – 15 мм, г – 20 мм, д – 25 мм, е – 30 мм, по месяцам для различных периодов времени для станции Баку.

Другими словами, если за 1961–1990 гг. в осенне-зимнем сезоне осадки с количеством более 25 мм в среднем наблюдались раз в 3 года, то за период 1991–2017 гг. соответствующее значение составляет 3 дня в 4 года, а для 2005–2017 гг. – 6 дней в 5 лет. Следовательно, если за 1961–1990 гг. в осенне-зимнем сезоне осадки с количеством более 30 мм в среднем наблюдались раз в 5 лет, то за 1991–2017 гг. – раз в 2 года, а для 2005–2017 гг. – 3 раза в 4 года.

В последние годы в осенние месяцы интенсивные осадки в большинстве случаев сопровождаются сильными ливнями и грозой, что свидетельствует об активации конвективных процессов на рассматриваемой территории.

Следует отметить, что увеличение повторяемости интенсивных осадков также наблюдается на Иранском побережье Каспийского моря (Торопов и др., 2019).

Здесь одним из вопросов, представляющих большой интерес, является значительное увеличение осенне-зимних осадков на Апшеронском полуострове, особенно в г. Баку, и заметное их уменьшение по всей территории Каспийского побережья в весенне-летний период. Для большинства станций наблюдений значения отрицательных аномалий осадков оказались статистически значимыми на 5%-м уровне (таблица 6).

Как видно, изменения в режиме осадков в Азербайджанской части Каспийского побережья не вызывают сомнений и могут быть связаны с различными причинами. К ним можно отнести ряд изменений в гидрометеорологическом режиме Каспийского моря, в том числе повышение температуры морской поверхности, изменения в характере атмосферной циркуляции, особенности характеристик суши и т.д. Следует отметить, что все эти факторы, в зависимости от местоположения и времени, влияют на режим осадков по-разному.

К примеру, известно, что в последние годы, как и в других регионах мира, в ареале Каспийского моря наряду с повышением температуры воздуха также наблюдается повышение поверхностной температуры (Гинзбург, Костяной, 2019; Казьмин, 2019) и, соответственно, увеличение испарения с поверхности моря (Chen et al., 2017). Однако влага, испаряющаяся с поверхности моря, может увеличить количество осадков только в том случае, если циркуляция атмосферы обуславливает подъем этой влаги вверх. Это обычно происходит при циклонической деятельности, которая преобладает над Каспием в холодное время года. Наоборот, при антициклической циркуляции, которая обычно свойственна для Каспийского моря в теплое время года, вследствие нисходящих движений, воздух адиабатически нагревается и удаляется от состояния насыщения, и так препятствует осадкообразованию.

Сравнение рядов годовых осадков и ТПМ (полученным по данным реанализа) для региона исследования показало, что морские станции при этом имеют отрицательную корреляцию, а прибрежные станции – положительную (таблица 7). В холодном полугодии преобладает положительная корреляция, а теплом – отрицательная.

Таблица 7. Коэффициенты корреляции между ТПМ и количеством осадков для различных станций

Станции	Коэффициенты корреляции		
	Годовые осадки	Осадки холодного полу-года	Осадки теплого полу-года
Баку	0.469298	0.439895	0.174347
Маштага	0.118323	0.117167	0.093734
Пираллахи	0.221492	0.356199	-0.14588
Чилов	-0.17869	-0.19241	-0.45907
Нефт Дашлары	-0.00844	0.207606	-0.25783

Исследования, проводимые на Иранском побережье Каспийского моря, также показывают, что в последние годы поверхностная температура моря повышается и имеет положительную корреляцию с осенне-зимними, и отрицательную – с летними осадками (Gholami et al., 2011). Однако относительно низкие значения коэффициентов корреляции показывают, что изменения режима осадков связаны не только с ТПМ, но и с другими факторами, в том числе циркуляционными процессами.

Исследования последних лет показывают, что в условиях последнего понижения уровня Каспийского моря (с 1995 г. по настоящее время) влияние индекса

Северо-Атлантического колебания на режим осадков моря незначительно (Панин и др., 2015). В нашем исследовании рассмотрено возможное влияние другого циркуляционного индекса, как EstAtlantic-/WestRussia на режим осадков. Ряды данных индекса получены из сайта <https://climexp.knmi.nl/getindices.cgi?STATION>. Сравнение годовых осадков с соответствующими значениями индекса в основном не выявило какой-нибудь значительной корреляции между ними, за исключением ст. Баку ($R = -0.4$). Это очевидно, потому что на фоне резкого уменьшения индекса циркуляции EstAtlantic/WestRussia наблюдается стремительный рост осадков в Баку.

Резкое увеличение осадков в г. Баку, по сравнению с остальной территорией Апшеронского полуострова, также можно объяснить влиянием других факторов. Это, прежде всего, может быть связано с резким увеличением территории и населения г. Баку, а также существенным антропогенным изменением орографии местности из-за строительства огромного количества многоэтажных зданий и т.д. В общем, можно сказать, что изменение орографических особенностей и характеристик подстилающей поверхности на фоне увеличения ТПМ и во взаимодействии их с синоптической ситуацией, повлияло на количество и характер атмосферных осадков Апшеронского полуострова, в особенности г. Баку.

Резкое увеличение количества осадков и числа дней с интенсивными осадками в осенне-зимний период на Апшеронском полуострове, особенно в г. Баку, привело к возникновению ряда проблем, в том числе к уменьшению интенсивности движений транспорта, выходу из строя автомобильных дорог раньше времени, затоплению в улицах и тоннелях, к подъему уровня грунтовых вод и т.д. Кроме этого отмечена активация в последние годы оползневых процессов в различных участках г. Баку, что также может быть объяснено увеличением количества осадков и числа дней с интенсивными и продолжительными осадками в осенне-зимний период. В связи с этим, выявленные выше изменения в режиме осадков в г. Баку, должны быть учтены в строительных работах и вообще в городском хозяйстве.

Заключение

Результаты исследования показывают, что за период 1991–2017 гг. на фоне очевидного потепления климата в Азербайджанской части Каспийского побережья, наблюдается увеличение атмосферных осадков на Апшеронском полуострове и на морском побережье к северу от него, а к югу от полуострова, на прибрежных территориях и морских станциях, отмечается их уменьшение. Наиболее значительное увеличение осадков зафиксировано в г. Баку, а наиболее значительное уменьшение – на морских станциях Чилов и Нефт Дашлары. В теплом полугодии на всех станциях наблюдалось уменьшение количества осадков, а в холодном – в основном увеличение (за исключением морских станций, а также станций Ленкорань и Астара). В теплом полугодии, на всей рассматриваемой территории, в том числе в г. Баку, повторяемость интенсивных осадков уменьшилась, а в холодном полугодии, особенно в г. Баку, выявлено значительное их увеличение, что привело к некото-

рым отрицательным последствиям, в том числе к затоплению улиц и тоннелей, к выходу из строя автомобильных дорог раньше времени, к подъему грунтовых вод и резкой активации оползневых процессов в различных участках города. Также большую тревогу вызывает сокращение осадков на морской поверхности, которое на фоне повышения ТПМ и, соответственно, увеличения испарения может привести к дальнейшему понижению уровня Каспийского моря.

Литература

- Алешина М.А., Торопов П.А., Семенов В.А.* Изменение температурно-влажностного режима Черноморского побережья Кавказа в период 1982–2014 гг. // Метеорология и гидрология. М.: Издательство Планета, 2018. № 4. С. 41–53.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г.* Межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря в современный период (2003–2017 гг.) // Вестник Тверского университета. Серия «География и геоэкология». 2019. № 3. С. 57–65.
- Иманов Ф.А.* Статистические методы в гидрометеорологии. Баку, 2011. 272 с. (На азербайджанском языке).
- Казьмин А.С.* Долгопериодная изменчивость гидрометеорологических параметров в акватории Каспийского моря. Часть 1: Описание данных // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. № 5. С. 65–73.
- МЭПР, Третье национальное сообщение Азербайджана к рамочной конвенции ООН по изменениям климата. Баку, 2015. 66 с. (На азербайджанском языке).
- Климат Азербайджана / под ред. А.А. Мадатзаде, Э.М. Шыхлинского. Баку: Из-во АН Аз. ССР, 1968. 343 с.
- Климат Баку / под ред. Ц.А. Швер и В.М. Мадат-Заде. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. 115 с.
- Махмудов Р.Н.* Анализ гидрометеорологического состояния в Азербайджане. Баку: 2015. 101 с. (На азербайджанском языке).
- Панин Г.Р., Выручалькина Т.Ю., Соломонова И.В.* Воздействие Северной Атлантики на гидрологический режим Бассейна Каспийского моря // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 4. С. 442–452.
- Сафаров С.Г.* Грозоградовые и селевые явления на территории Азербайджана и радиолокационные методы их прогнозирования. Баку: Элм, 2012. 292 с.
- Сафаров С.Г., Гусейнов Дж.С., Ибрагимова И.В.* Анализ особенностей многолетних температурных изменений в западных территориях Азербайджана // Научные Труды Национальной Академии Азербайджана. Баку, 2018. № 1. С. 108–115. (На азербайджанском языке).
- Сафаров С.Г., Махмудов Р.Н.* Современные климатические изменения в Азербайджане. Баку, 2011. 312 с. (На азербайджанском языке).
- Торопов П.А., Шестакова А.А., Кислов А.В., Рухоллах О.* Сильные осадки на Иранском побережье Каспийского моря // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. № 5. С. 116–129. DOI: 10.29006/1564–2291.JOR–2019.47(5).9.
- Халилов С.Г., Сафаров С.Г.* Месячные и годовые нормы температуры воздуха и атмосферных осадков (1961–1990 гг.). Баку, 2001. 109 с. (На азербайджанском языке).
- Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., Safarov E.S.* Long-term Caspian Sea level change // Geophys. Res. Lett. 2017. Vol. 44. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017GL073958>.

- Gholami M., Ahmadi F.G., Ghader S.* Role of sea surface temperature anomaly (SSTA) of the Caspian Sea on rainfall variations in the southern coastal region // Proceedings of the International scientific conference «Climate and water balance changes in the Caspian region». Astrakhan. Russian Federation, 19–20 October 2010. Astrakhan, 2011. P. 168–173.
- Mammadov R.M., Safarov S.H., Safarov E.S.* Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan // Geography and Natural Resources. Elsevier, 2009. Vol. 30 (4). P. 403–407.
- Safarov S.H., Huseynov J.S., Ibrahimova I.V., Safarov E.S.* The main features of temperature changes, occurring over the territory of Caspian Sea in Azerbaijan / Understanding the problems of inland waters: Case study for the Caspian basin (upcb). Baku, 2018. P. 100–105.
- Safarov S.H., Nasibli A.A., Huseynov J.S., Ibrahimova I.V.* Influence of Climate Warming on Hail Events in the Western Part of Azerbaijan // Proceedings of International Scientific Conference on Sustainable Development Goals 24–25 November 2017, Baku, Azerbaijan. Baku, 2017. P. 83–89.

MODERN CHANGES IN PRECIPITATION ON THE CASPIAN COAST OF AZERBAIJAN

Safarov S.H.¹, Safarov E.S.¹, Huseynov J.S.², Ismayilova N.N.³

¹*Institute of Geography of ANAS, AZ1143 Baku, Azerbaijan,*
e-mail: safarov53@mail.ru,

²*Azerbaijan Airlines JSC, Azeraeronavigation ATM, Baku, Azerbaijan,*

³*National Hydrometeorology Department of the MENR of Azerbaijan, Baku.*

Submitted 15.01.2020, accepted 31.03.2020

In this article, according to observations data of 10 hydrometeorological stations for 1992–2017 the changes in the precipitation regime in the Azerbaijan part of the Caspian Sea coastal territories is studied. It was shown that against the background of global and regional warming, the majority of coastal stations show an increase in precipitation, while marine stations decrease. The greatest increase in precipitation is observed in Baku. The extreme characteristics of precipitation revealed an increase in the recurrence of intense precipitation in Baku, especially in the autumn season. It has been shown that the increased frequency of intense precipitation in the city of Baku is alarming, as it leads to various problems, including the activation of landslide processes.

Keywords: precipitation, rainfall anomalies, precipitation extremes, climate change, landslides.

References

- Aleshina M.A., Toropov P.A., and Semenov V.A.* Izmenenie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima Chernomorskogo poberezh'ja Kavkaza v period 1982–2014 gg. *Meteorologija i gidrologija*, Moscow: Izdatel'stvo Planeta, 2018, No. 4, pp. 41–53.
- Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., and Safarov E.S.* Long-term Caspian Sea level change. *Geophys. Res. Lett.*, 2017, Vol. 44, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017GL073958>.

- Gholami M., Ahmadi F.G., and Ghader S.* Role of sea surface temperature anomaly (SSTA) of the Caspian Sea on rainfall variations in the southern coastal region. Proceedings of the International scientific conference “Climate and water balance changes in the Caspian Region” Astrakhan, Russian Federation, 19–20 october 2010, Astrakhan, 2011, pp. 168–173.
- Ginzburg A.I. and Kostianoy A.G.* Mezhgodovaya izmenchivost' temperatury poverhnosti Kaspijskogo morya v sovremenneyj period (2003–2017 gg.). Interannual variability of the Caspian Sea surface temperature in the current period (2003–2017). *Vestnik Tverskogo universiteta. Seriya “Geografiya i geoekologiya”*, 2018, Vol. 3, pp. 57–65.
- Imanov F.A.* Statisticheskie metody v gidrometeorologii (Statistical Methods in Hydrometeorology). Baku, 2011, 272 p., (Na azerbajdzhanskom jazyke).
- Kazmin A.S.* Long-term variability of the hydro-meteorological parameters in the Caspian Sea. Part 1: data description. *Journal of Oceanological Research*, 2019, Vol. 47, No. 5, pp. 65–73, doi: 10.29006/1564–2291.JOR–2019.47(5).5.
- Khalilov S.G. and Safarov S.H.* Mesjachnye i godovye normy temperatury vozduha i atmosfernyh osadkov (1961–1990 gg.) (Monthly and annual norms (1961–1990) of air temperature and precipitation in the Republic of Azerbaijan), Baku, 2001, 109 p., (Na azerbajdzhanskom jazyke).
- Klimat Azerbajdzhana. Eds. A.A. Madat-zade, Je.M. Shyhlinskogo (Climate of Azerbaijan, Eds. A.A. Madat-Zade, E.M. Shikhlynsky), Baku: Academy of Sciences Publishing House Az SSR, 1968, 343 p.
- Klimat Baku, Eds. C.A. Shver, V.M. Madat-Zade, (The climate of Baku, Eds. C.A. Schwer and V.M. Madat-Zade). Leningrad: Hydrometeoizdat, 1988, 115 p.
- Makhmudov R.N.* Analiz gidrometeorologicheskogo sostojaniya v Azerbajdzhane (Analysis of Hydrometeorological status in Azerbaijan). Baku, 2015, 101 p., (Na azerbajdzhanskom jazyke).
- Mammadov R.M., Safarov S.H., and Safarov E.S.* Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan. *Geography and Natural Resources*, Elsevier, 2009, Vol. 30(4), pp. 403–407.
- MJePR, Tret'e nacional'noe soobshhenie Azerbajdzhana k ramochnoj konvencii OON po izmenenijam klimata (MENR, III National Communication of Azerbaijan to the UN Framework Convention on Climate Change). Baku, 2015, 66 p., (Na azerbajdzhanskom jazyke).
- Panin G.R., Vyruchalkina T.Yu., and Solomonova I.V.* Vozdejstvie Severnoj Atlantiki na gidrologicheskij rezhim Bassejna Kaspijskogo morja (North Atlantic impact on hydrological regime of the Caspian Sea Basin). *Vodnye resursy*, 2015, Vol. 42, No. 4, pp. 442–452.
- Safarov S.H.* Grozogradovye i selevye javlenija na territorii Azerbajdzhana i radiolokacionnye metody ih prognozirovaniya (Hailstorm and mudflow phenomena in the territory of Azerbaijan and radar methods for their forecasting). Baku: Elm, 2012, 292 p.
- Safarov S.H., Huseynov J.S., Ibrahimova I.V., and Safarov E.S.* The main features of temperature changes, occurring over the territory of Caspian Sea in Azerbaijan. *Understanding the problems of inland waters: Case study for the Caspian basin*, Baku, 2018, pp. 100–105.
- Safarov S.H., Huseynov J.S., and Ibrahimova I.V.* Analiz osobennostej mnogoletnih temperaturnyh izmenenij v zapadnyh territorijah Azerbajdzhana (Analysis of the features of long-term temperature changes in the western part of the Azerbaijan Republic). *Nauchnye Trudy Nacional'noj Akademii Azerbajdzhana*, Baku, 2018, No. 1, pp. 108–115, (Na azerbajdzhanskom jazyke).

Сафаров С.Г. и др.

Safarov S.H. and Makhmudov R.N. Sovremennye klimaticheskie izmenenija i Azerbajdzhan
(Modern climate change and Azerbaijan), Baku, 2011, 312 p.

Safarov S.H., Nasibli A.A., Huseynov J.S., and İbrahimova İ.V. Influence of Climate Warming
on Hail Events in the Western Part of Azerbaijan. *Proceedings of International Scientific*
Conference on Sustainable Development Goals, 24–25 November, Azerbaijan: Baku, 2017,
pp. 83–89.

Toropov P.A., Shestakova A.A., Kislov A.V., and Ruhollah O. Heavy Precipitation on the Iranian
Coast of the Caspian Sea. *Journal of Oceanological Research*, 2019, Vol. 47, No. 5, pp.
116–129, doi: 10.29006/1564–2291.JOR–2019.47(5).9.