

УДК 551.582

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ МНОГОЛЕТНИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2025 г. Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина

*Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН*

*Россия, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, кв. Северный, д. 8*

*E-mail: gbulah@mail.ru*

Поступила в редакцию 09.04.2025. После доработки 01.06.2025. Принята к публикации 01.07.2025.

В статье представлены результаты исследований, проведенные в 2024 году в Астраханской области на базе Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН. Цель исследований – выявить климатические изменения в области и направление их динамики. Расчет количественных показателей климата был выполнен на основе использования массивов данных по среднемесячной температуре воздуха и месячных сумм осадков за период 1978-2023 гг. Расчет испаряемости проводили по методикам А.И. Будаговского, Г.Т. Селянинова, Н.А. Шумовой. По результатам исследования был определен отрицательный тренд ГТК Селянинова и коэффициента увлажнения Высоцкого-Иванова. Оценка метеорологических данных за 46 лет показала, что на территории области происходит реальное изменение климата, направленное на аридное потепление.

*Ключевые слова:* количественные показатели климата, метеостанции, температура воздуха, сумма осадков, Астраханская область.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2025-3-22-26**

**EDN: EOSRJG**

Многолетние исследования процесса опустынивания экосистем показали, что взаимодействие природных и антропогенных факторов создает особую угрозу масштабных деградационных процессов не только в России, но и во всем мире (Пугачёва и др., 2022; Усманов и др., 2010; Кульжанова и др., 2017; Золотокрылин, 2005; Золотокрылин и др., 2007; Сергиенко, Константинов, 2016; Гунин и др., 2018; Эльпинер, 2002).

Гидротермические условия территории, а именно, соотношение тепла и влаги, являются основным фактором жизни и развития природных экосистем, поэтому для анализа состояния и развития этих экосистем необходима оценка за длительный временной период. Для мониторинга многолетнего аспекта гидрологического цикла требуются различные показатели и индексы, в т.ч. коэффициенты увлажнения (индексы увлажнения, индексы влажности, индексы гумидности) и индексы аридности (индексы засушливости, индексы засухи). Раньше ученые были ограничены в выборах метода и использовали один показатель или индекс. За последние 25 лет в мире разработаны новые индексы, которые дают больше возможностей выбора. Появление геоинформационных систем расширило потенциал сравнения различных показателей. Разработанный в США «Справочник по показателям и индексам засушливости» (2016) был основан на имеющейся мировой литературе и на использовании по мере возможности результатов соответствующих исследований. В «Справочнике» особое внимание уделяется «простоте использования».

В России из всех показателей климата наибольшее распространение получили коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова и гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова, для которых достаточны показатели температуры воздуха и осадков, представленных во всех базах метеоданных, что является их большим преимуществом.

Цель нашей работы – выявить климатические изменения на территории Астраханской области и направление их динамики.

### Материалы и методы

Для выявления климатических изменений на территории Астраханской области и направление их динамики была проведена оценка гидротермических условий за период 1978-2023 гг. по данным 3 метеостанций: г. Астрахань (южная часть), с. Верхний Баскунчак (северная часть, левобережье

р. Волга), с. Черный Яр (северная часть, правобережье р. Волга). Первые две станции включены в Глобальную сеть наблюдений за климатом (Булыгина и др. 2019а, 2019б). Сбор базы многолетних данных метеостанции с. Черный Яр проводился сотрудниками Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН. Расчет количественных показателей климата для территории Астраханской области за 46 лет был выполнен на основе использования массивов данных по среднемесячной температуре воздуха и месячных сумм осадков. Расчет испаряемости проводили по методике Н.А. Шумовой (2010), в т.ч. в соавторстве с Е.А. Черенковой (2007), и на основе модели суммарного испарения А.И. Будаговского (1964).

### Результаты и обсуждение

Коэффициент вариации среднемноголетних показателей температуры воздуха и суммы осадков в Астраханской области показал среднее рассеивание данных, поскольку был меньше 33%. Чтобы получить более точный результат исследований, опираясь на методические разработки Н.А. Шумовой, мы использовали наиболее известные в России и мировой практике количественные показатели климата, в т.ч. ГТК Селянинова и коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова.

В России наиболее популярным показателем климата является ГТК Селянинова, который характеризует уровень влагообеспеченности территории. Он был разработан российским климатологом Г.Т. Селяниновым для климатических условий страны и характеризует условный период вегетации, поскольку для его расчета требуются среднесуточные температуры воздуха выше 10°C. Используя ГТК, Г.Т. Селянинов (1958) выделял 7 природных зон (табл. 1). На основе многолетних данных ГТК и таблицы распределения природных зон были выявлены диапазоны динамики гидротермического коэффициента за 1978-2023 гг. по метеостанциям Астраханской области, которые соответствуют природной зональности от пустыни до типичной степи (рис. 1). На рисунке 1 отмечены природные зоны пустыни, полупустыни и степи.

**Таблица 1.** Разделение природных зон по значению гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (1958).

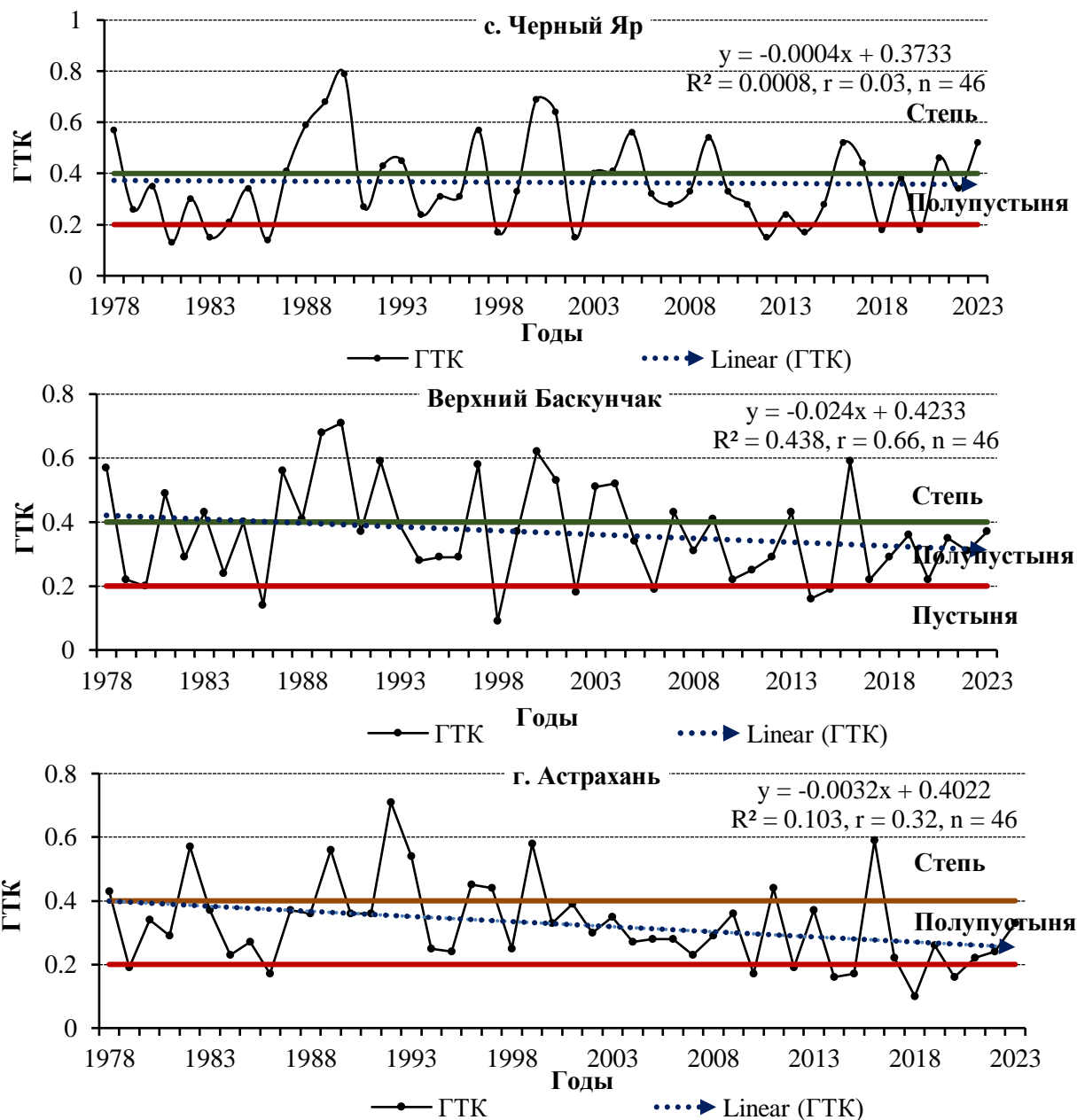
Природные зоны	ГТК
Тайга	> 1.6
Тайга и лиственные леса	1.6-1.3
Лесостепь	1.3-1.0
Типичная степь	1.0-0.7
Степь на южных черноземных и каштановых почвах	0.7-0.4
Полупустыня	0.4-0.2
Пустыня	< 0.2

За рассматриваемый временной интервал в среднем в 23 случаях (50%) гидротермические условия территории Астраханской области соответствовали природной зоне полупустынь, в 15.3 (33.3%) – зоне степей, 7.7 (16.7%) – пустынь. Линейные линии трендов на графиках и их формулы показывают, что в межгодовом распределении ГТК прослеживается достоверная тенденция его уменьшения для 2 метеостанций: Верхний Баскунчак и Астрахань. Для метеостанции Черный Яр изменения хотя и имеют так же отрицательный тренд, но пока недостоверны. Все это свидетельствует в целом о прогрессирующем аридном потеплении территории.

В «Метеорологическом словаре» (2024) коэффициент увлажнения обозначен как «индекс Высоцкого», а согласно «Экологической энциклопедии» (2010), это «отношение количества атмосферных осадков к потенциальной величине суммарного испарения в данной экосистеме за год». В различных источниках данный коэффициент отмечается как коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (КУ). На основании коэффициента увлажнения Н.Н. Иванов (1941) выделил 5 природных зон (табл. 2).

Коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова на территории Астраханской области был рассчитан на основе данных о температуре воздуха и осадках на 3 метеостанциях за временной

интервал 1978-2023 гг. На рисунке 2 представлены значения коэффициента увлажнения по метеостанциям за этот период.

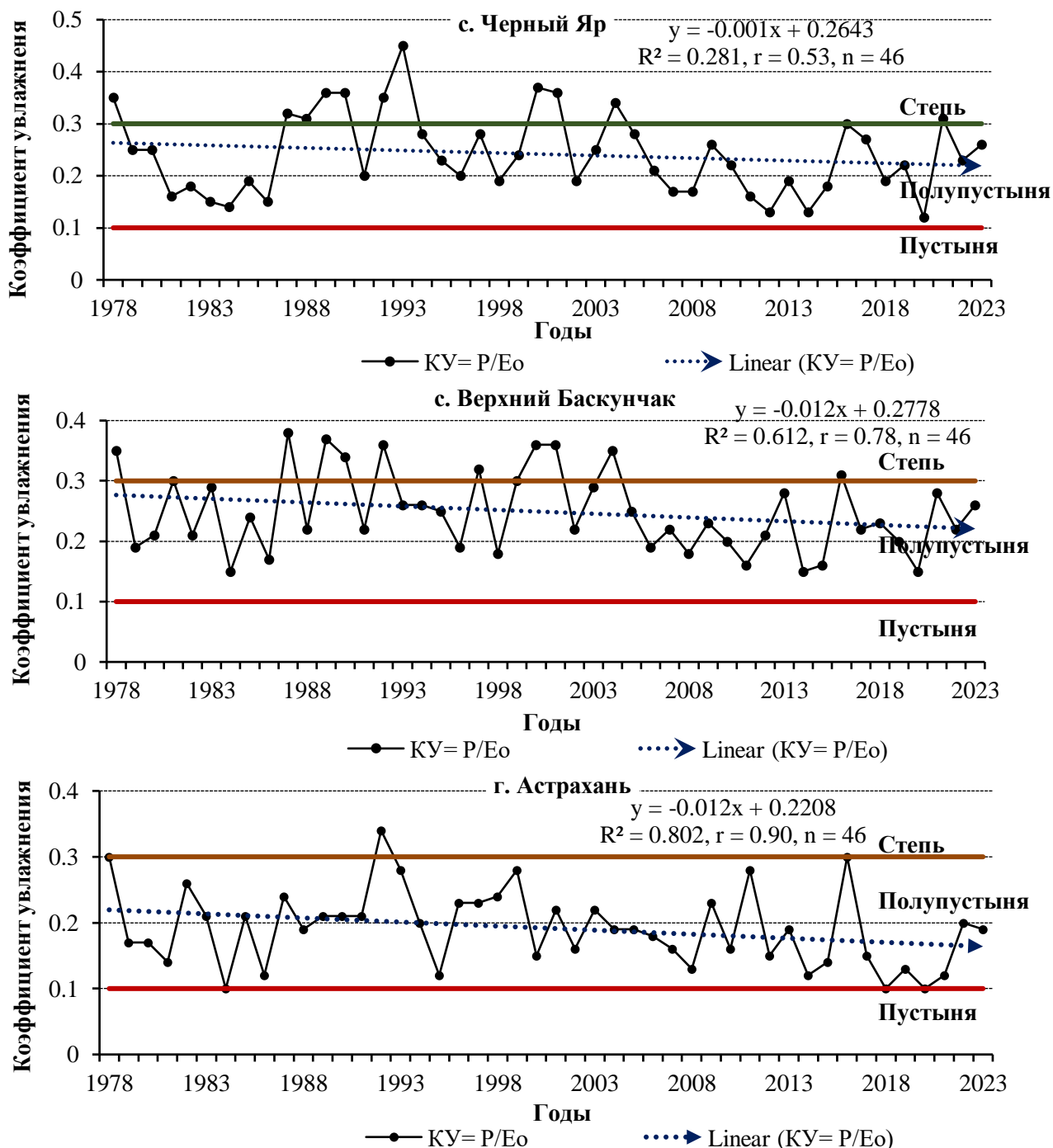


**Рис. 1.** Динамика изменения гидротермического коэффициента ГТК Г.Т. Селянинова в Астраханской области по метеостанциям (1978-2023 гг.).

**Таблица 2.** Коэффициент увлажнения по природным зонам (Иванов, 1941).

Природные зоны	Коэффициент увлажнения
Лесная зона	1.0-1.5
Лесостепь	0.6-1.0
Степь	0.3-0.6
Полупустыня	0.1-0.3
Пустыня	< 0.1

На рисунке 2 выделены природные зоны пустыни, полупустыни и степи в соответствии с таблицей 2. По данным расчета КУ Высоцкого-Иванова и таблицы 2 было выявлено, что за рассматриваемый временной интервал гидротермические условия территории Астраханской области не соответствовали природной зоне пустынь, зоне полупустынь соответствовали в 37 (80.3%) случаях, зоне степей – в 9 (19.7%).



**Рис. 2.** Динамика изменения коэффициента увлажнения в Астраханской области по метеостанциям (1978-2023 гг.).

Линейная линия тренда на графиках и ее формула показывают, что в межгодовом распределении гидротермического коэффициента прослеживается достоверная тенденция его уменьшения, что свидетельствует о прогрессирующем аридном потеплении территории.

### Выводы

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие основные выводы: чтобы получить достоверный результат оценки динамики гидротермических условий для целого региона, необходимо использовать максимальное количество доступных данных, охватывающих разные районы территории. Используя различные методы, был определен отрицательный тренд ГТК Г.Т. Селянинова и КУ Высоцкого-Иванова. Оценка метеорологических данных за 46 лет показала, что на территории Астраханской области происходит реальное изменение климата, направленное на аридное потепление.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будаговский А.И.* 1964. Испарение почвенной влаги. М.: Наука. 242 с.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В.* 2019а. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 04.07.2024)].
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В.* 2019б. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 04.07.2024)].
- Гунин П.Д., Панкова Е.И., Голованов Д.Л., Мандахбаяр Ж.* 2018. Экосистемы природных оазисов пустынной зоны Центральной Азии. Ч. 1: Эхийн-гол – природниковый оазис Заалтайской Гоби. М.: Тов-во научных изданий КМК. 216 с.
- Золотокрылин А.Н.* 2005. Гетерогенность аридизации в центральной Азии в конце 20 века // Аридные экосистемы. Т. 11. № 26-27. С. 100-105.
- Золотокрылин А.Н., Гунин П.Д., Виноградова В.В., Бажа С.В.* 2007. Изменение климата и состояние растительного покрова Монголии в 20 веке. Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охрана. М.: Типография Россельхозакадемии. С. 89-100.
- Иванов Н.Н.* 1941. Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР. Серия «География и геофизика». № 3. С. 261-288.
- Кульжанова С.Н., Байдюсен А.А., Ботабекова Б.Т., Жумадилова Н.Б., Кенжегулова С.О.* 2017. Особенности влияния антропогенных факторов на степные растения и их трансформация // Кормопроизводство. № 7. С. 7-12.
- Метеорологический словарь. 2024 [Электронный ресурс <http://meteorologist.ru/meteorologicheskii-slovar/index.php> (дата обращения 15.06.2024)].
- Пугачёва А.М., Беляев А.И., Трубакова К.Ю., Ромадина О.Д.* 2022. Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами // Аридные экосистемы. Т. 28. № 3 (92). С. 13-21. [*Pugacheva A.M., Belyaev A.I., Trubakova K.Y., Romadina O.D.* 2022. Regional Climate Changes in Arid Steppes and their Connection with Drought // *Arid Ecosystems*. Vol. 12. No. 4. P. 353-360.]
- Селянинов Г.Т.* 1958. Принципы агроклиматического районирования СССР. Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. С. 7-14.
- Сергиенко В.Г., Константинов А.В.* 2016. Прогноз влияния изменения климата на разнообразие природных экосистем и видов флористических и фаунистических комплексов биоты России // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. № 2. С. 29-44.
- Справочник по показателям и индексам засушливости. 2016. 53 с. [Электронный ресурс [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices\\_ru\\_2016.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf) (дата обращения 15.06.2024)].
- Усманов Р.З., Баламирзоев М.А., Котенко М.Е., Бабаева М.А., Осипова С.В.* 2010. Проблемы борьбы с деградацией и опустыниванием Кизлярских пастбищ в связи с аридизацией климата и антропогенных воздействий на природные экосистемы // Юг России: экология, развитие. № 3. С. 117-122.
- Черенкова Е.А., Шумова Н.А.* 2007. Испаряемость в количественных показателях климата // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 57-69.
- Шумова Н.А.* 2010. Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в условиях юга Русской равнины. М.: Наука. 239 с.
- Экологическая энциклопедия: в 6 т. 2010. Т. 2: Г-И. М.: Энциклопедия. 448 с.
- Эльпинер Л.И.* 2002. Аральская экологическая катастрофа как модель медико-экологических последствий аридизации и опустынивания (к проблемам глобального изменения климата) // Аридные экосистемы. Т. 8. № 16. С. 67-75.