



**Российский фонд фундаментальных исследований**

**Воронежский государственный университет  
факультет географии, геоэкологии и туризма**

**Русское географическое общество  
Воронежское областное отделение**

**Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ  
Российское гидрометеорологическое общество  
Институт географии Российской академии наук**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Географический факультет**

*Посвящается 85-летию факультета  
географии, геоэкологии и туризма ВГУ*

# **Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы**

**Материалы международной научно-практической конференции  
(г. Воронеж, 3 - 5 октября 2019 г.)**

## **ТОМ 1**

**2019**



<i>Спиридонова А.Б., Анисимова О.В.</i> ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ДИНАМИКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕВЕР МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ .....	278
<i>Ставропольский Ю.В.</i> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЯПОНИИ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ХОККАЙДО.....	283
<i>Сухова М.Г., Чернова Е.О., Журавлева О.В., Лукашева М.А.</i> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ.....	286
<i>Трегубов О.Д., Ушаков М.В.</i> ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ КЛИМАТА НА ГЛУБИНУ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ.....	291
<i>Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В.</i> МОДЕЛИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТИПОВ СТРУКТУРЫ ЗИМНЕГО СЕЗОНА ГОДА И ИХ ДИНАМИКА В ПОДТАЙГЕ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ .....	295
<i>Хаванская Н.М.</i> ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	302
<i>Харитонов А.М.</i> О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОПТИМУМА СРЕДНИХ ВЕКОВ.....	308
<i>Холопцев А.В.</i> ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ.....	311
<i>Чередниченко Александр В., Чередниченко Алексей В., Чередниченко В.С., Жексенбаева А.Ж.</i> ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ.....	317
<i>Чуйкова А.А.</i> ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ.....	322
<i>Шестакова АА., Чечин Д.Г., Репина И.А.</i> ОПАСНЫЕ ВЕТРЫ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ: ГЕНЕЗИС, ПОВТОРЯЕМОСТЬ, ТРЕНДЫ .....	326
<b>РАЗДЕЛ 3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.....</b>	<b>333</b>
<i>Абдуев М.А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ АЗЕРБАЙДЖАНА.....	333
<i>Белик А.В., Скородумова М.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН В ПРЕДЕЛАХ БЛИЖНЕГО ПОДВОРОНЕЖЬЯ.....	336
<i>Бочаров В.Л., Бабкина О.А., Смольянинов В.М.</i> ГИДРОХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА БОГУЧАРСКОГО ПОДОНЬЯ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ) В СВЯЗИ С ИСКУССТВЕННЫМ ПОПОЛНЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	339

## ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

*Александр В. Чередниченко, Алексей В. Чередниченко, В.С. Чередниченко,  
А.Ж. Жексенбаева  
[geliograf@mail.ru](mailto:geliograf@mail.ru)*

*НИИ проблем биологии и биотехнологий Казахского национального университета  
им. Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан*

Территория северного Казахстана относится к зоне рискованного земледелия (рис. 1), здесь из пяти лет урожайными бывают в среднем только три. Зоны поливного земледелия, расположенные по югу Республики, удовлетворяют в основном местные потребности. Поэтому, несмотря на проблемы, Северный Казахстан является основным земледельческим регионом, здесь же сосредоточено производство зерновых, обеспечивающих продовольственную безопасность Республики.

Зоны рискованного земледелия особенно чувствительны к изменению климата, поскольку системы окружающей среды находятся в неустойчивом равновесии и небольшие, но продолжительные изменения количества осадков или рост температуры могут привести к необратимым последствиям. Понятно поэтому, что анализ возможных изменений климата в регионе Северного Казахстана имеет не только научный, но и практический интерес.



*Рис. 1. Территория Северного Казахстана*

Территория расположена в центре Евразии, и этим обуславливаются большие амплитуды годового хода температуры и относительно малое количество осадков из-за большой удалённости от океанов, в первую очередь от Атлантического океана.

Авторы отказались от линейной экстраполяции временных рядов температуры и осадков из-за того, что линейные тренды обладают большой инерцией. Так, для перехода от положительного тренда к отрицательному, требуется до 10 лет или больше, поскольку необходимо время, чтобы компенсировать накопленную положительную сумму отклонений и достичь нейтрального тренда. Только после этого возможен переход к отрицательному тренду. Поэтому мы аппроксимировали наши ряды, полиномом шестой степени, обеспечивая значительное сглаживание ряда, при котором, однако, сохраняются климатические экстремумы. Такая полиномиальная аппроксимация достаточно чувствительна к общей тенденции ряда и улавливает её по данным всего за несколько лет. Недостатком такого метода аппроксимации является то, что мы не знаем, как долго появившаяся тенденция в изучаемом параметре сохранится. Поэтому кроме полиномиальной аппроксима-



рических функций, каждая из которых выбирает свою долю дисперсии изучаемого параметра. Чем быстрее сходится временной ряд, тем меньшим числом гармоник выбирается основная часть дисперсии. В нашем исследовании до 95% дисперсии во временных рядах температуры выбирается тремя гармониками, а в рядах осадков – четырьмя. Следовательно, временные ряды осадков сходятся медленнее, чем ряды температуры. Мы, однако, в данной работе оцениваем вклад гармоник не в долях дисперсии, а через их амплитуду. Это позволяет нам измерять вклад каждой из гармоник в градусах и миллиметрах соответственно, что очень удобно и физически наглядно.

Если аппроксимация полиномом шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на изменение тренда в динамике ряда, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую гармонику принято интерпретировать как результат воздействия группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, которые участвовали в формировании временного ряда ранее, затем исчезнут. Это даёт нам возможность, во-первых, проверить, подтверждается ли полиномиальная тенденция на конце временного ряда соответствующим ходом основных гармоник, а, во-вторых, построить сценарий изменения временного ряда на 20-40 лет вперёд, как сумму продолженных основных гармоник на перспективу в каждой временной точке ряда. При этом основные гармоники, как основу прогноза, тоже можно аппроксимировать полиномом шестой степени, чтобы получить ожидаемый ход прогнозируемого параметра.

Климатические колебания в регионе мы объясняем исключительно колебаниями общей циркуляции атмосферы. Для описания которой в работе использованы широко известные индексы Вагенгейма для первого естественного синоптического района, простирающегося от середины Атлантики примерно до меридиана 100° в.д. [2]. Вся территория Казахстана находится в пределах этого района. Количественных характеристик интенсивности процесса типизация Вангенгейма не содержит.

#### Вариации температуры и осадков

Рассмотрим, особенности распределения температуры и осадков по территории Северного Казахстана, как основу для их последующей трансформации под влиянием изменяющегося климата. В таблице 1 на основе [1] приведено распределение температуры по станциям региона.

Можно видеть, что для региона характерны суровая зима (средние месячные температуры января минус 16 ... минус 18 °С) и жаркое лето (средние месячные температуры июля 19.0...21°С). Зимние температуры понижаются к северу и к востоку территории. Соответственно, самая низкая температура в январе имеет место в Петропавловске, и Щербакты (-17.9 °С). Кроме февраля и марта во все остальные месяцы в Петропавловске имеют место самые низкие месячные температуры для региона. Как следствие, здесь же отмечается и самая низкая среднегодовая температура воздуха (1°С).

Таблица 1. Средняя месячная и годовая температура воздуха в Северном Казахстане

Станции	месяцы												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Кокшетау	-15.7	-15.1	-9.0	3.4	12.1	17.8	19.8	17.1	11.4	3.1	-6.8	-13.2	2.1
Костанай	-16.1	-15.3	-8.4	5.3	13.5	19.4	20.8	18.0	12.1	3.8	-6.0	-12.7	2.9
Астана	-16.8	-16.3	-9.9	3.2	12.8	18.2	20.4	17.8	11.5	2.8	-7.1	-13.9	1.9
Павлодар	-17.1	-16.6	-9.1	4.8	13.4	19.4	21.5	18.4	12.3	3.6	-7.3	-14.1	2.4
Щербакты	-17.9	-17.1	-10.1	4.0	13.1	19.3	21.3	18.3	11.9	3.2	-7.8	-14.7	2.0
Явленка	-17.2	-16.4	-9.6	3.4	12.2	17.9	19.5	16.7	11.0	2.6	-7.6	-14.4	1.5
Петропавловск	-17.9	-16.6	-10.0	2.8	11.6	17.3	19.2	16.4	10.6	2.1	-8.0	-15.0	1.0
$\Delta t_{\max}$	2.2	2.0	1.7	2.5	1.9	2.1	2.3	2.0	1.7	1.7	2.0	2.3	1.9

В холодное полугодие (январь, февраль) самые высокие температуры наблюдаются в Кокшетау, что обусловлено более высоким его положением над уровнем моря. Затем

в течение марта – июня область самых высоких температур смещается на запад в район Костаная, а, начиная с мая - на северо-восток в район Павлодара. Особенности такого перемещения областей низких и высоких температур хорошо объяснимы особенностями общей циркуляции атмосферы согласно, например, [2-4] и др. Однако это не является объектом данного исследования. Отметим, что пространственная изменчивость средних месячных температур не превышает 2.5 °С, а в большинстве месяцев она остаётся в пределах 2 °С, т.е. регион Северного Казахстана характеризуется достаточно высокой температурной однородностью во все месяцы года.

Среднее годовое количество осадков по территории региона согласно тому же находится в пределах 350 мм (в Петропавловске 356 мм) при испаряемости 800 – 900 мм. Территория Северного Казахстана находится, таким образом, в зоне рискованного земледелия, в зоне, где испаряемость более чем в два раза больше количества выпадающих осадков (табл. 2).

Таблица 2. Количество осадков на некоторых станциях Северного Казахстана и их распределение в течение года

Станции	месяцы												год	за период V-VIII
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Кокшетау	13	11	10	18	31	44	65	42	27	22	18	13	314	182
Костанай	19	13	13	23	30	41	54	36	28	28	24	22	331	164
Астана	23	19	20	21	30	40	50	38	27	27	24	23	342	158
Павлодар	16	12	11	15	25	31	46	29	21	24	20	18	268	131
Щербакты	15	15	10	11	16	25	57	47	22	25	19	17	279	145
Явленка	13	11	10	20	31	49	68	49	30	30	20	16	347	197
Петропавловск	16	12	11	20	31	49	61	50	32	30	24	20	356	191
$\Delta Q_{\max}$	10	8	10	12	15	24	19	21	11	8	6	10	88	51

Однако земледелие в регионе возможно, и данный регион является основным районом земледелия, обеспечивающим стране продовольственную безопасность. Земледелие здесь возможно не потому, что осадков выпадает достаточно, а потому, что основное количество выпадает в вегетационный период. Действительно, из таблицы 2 видно, что в течение мая-августа выпадает половина или несколько больше половины годового количества осадков. Этот факт и обеспечивает возможность земледелия в регионе.

Наибольшее годовое количество осадков имеет место в северной части региона (Петропавловск, 356 мм), медленно снижаясь к югу (Астана, 342 мм). Значительное количество осадков выпадает также на северо-западе территории (Костанай, 331 мм). К востоку количество осадков быстро снижается до 268 мм в Павлодаре. В вегетационный период распределение выпадающих осадков по территории и в общих чертах сохраняется, но в северной части, где имеет место максимум, количество выпадающих осадков составляет больше половины, а на остальной части территории - около половины. В целом по территории, несмотря на годовые различия в количестве осадков, до 88 мм, годовой режим изменения очень сходен. Таким образом, в целом в среднем статистическом на рассматриваемой территории распределение температуры, определяющей испаряемость, и количество осадков



**Климатический прогноз.** Авторы метода динамической климатологии и вероятностно-статистического метода климатического прогноза [5] вводят понятие группы аналогов или группы «ближайших соседей». Ближайшими соседями являются те, у кого режимы температуры и осадков близки. Выше мы показали, что температурный режим региона мало различается по территории, а режим осадков, несмотря на их большую изменчивость, тоже сходен. Следовательно, к нашему региону мы можем применить понятие «ближайших соседей».

*Сценарий изменения температуры.* Построение сценария на перспективу выполним на основе гармонического анализа временного ряда температуры станции Щербакты, содержащегося выше. В предположении, что гармоники, обнаруженные во временном ряде температуры в Щербакты, сохранятся, продлим их на перспективу до 2050 г. В этом случае можно ожидать, что температура в течение ближайших 50 лет за счёт вековой гармоники будет понижаться в пределах её амплитуды, около 2 °С к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижением амплитуды вековой гармоники, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном отрезке, не превысят 0.8 °С. В северо-восточной и северной частях региона понижение температуры наступит раньше, чем в центральной и южной. Климатическая разность температур по территории не будет превышать 2 °С.

*Сценарий изменения осадков.* При построении сценариев динамики осадков на перспективу мы не посчитали возможным воспользоваться результатами гармонического анализа временных рядов осадков по аналогии с построением сценария температуры. Гармоники во временных рядах осадков, в отличие от рядов температуры, сходятся медленно. Каждый случай осадков (импульс) характеризуется очень малым отношением длительности импульсов к периоду их повторения. Большая по сравнению с длительностью импульса величина периода повторения приводит медленной сходимости ряда и к необходимости учитывать большое число гармоник, поскольку амплитуды соседних гармоник близки по величине, что имеет место и в нашем случае. Согласно теории гармонического анализа [5] «ряды Фурье <в таком случае> пригодны скорее для анализа временных рядов, чем для синтеза» и построения прогностических сценариев.

Поэтому для построения сценариев динамики осадков на перспективу воспользуемся связью между временными рядами осадков и компонентами общей циркуляции атмосферы (типами макропроцессов), чтобы построить сценарии динамики осадков на перспективу. Для начала, однако, выполним гармонический анализ самих типов макропроцессов. Результаты такого анализа типов макросиноптических процессов E, C и W приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 можно видеть, что у всех типов более 90 % дисперсии выбирается первыми тремя гармониками, а у макротипа W – по сути двумя. У всех типов с увеличением номера гармоники её амплитуда, быстро понижается, т.е. ряды быстро сходятся, что говорит о высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связности рядов [5] на это же указывает и соотношение длин гармоник.

Таблица 3. Результаты гармонического анализа временных рядов типов циркуляции

Номера гармоник	типы					
	E		C		W	
	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни
1	98	60	58	40	103	65
2	43	40	28	25	38	40
3	23	20	18	20	23	5

Во временном ряде повторяемости типа E имеются вековые гармоники (98 лет) с амплитудой 60 суток, вторая гармоника продолжительностью 43 года и амплитудой 40 суток и третья гармоника продолжительностью 23 года и амплитудой 20 суток.

Вековая гармоника имеется также, в типе W (103 года), максимальная из всех гармоник, с амплитудой до 65 суток. Вторая гармоника продолжительностью 38 лет имеет амплитуду 40 дней, а третья – продолжительностью 23 года имеет амплитуду всего около 5 суток. В анализе третья гармоника в типе W по сути может не учитываться.

Во временном ряде типа С вековая гармоника отсутствует. Самой длинной является гармоника 58 лет с амплитудой 40 суток. Вторая гармоника продолжительностью 28 лет имеет амплитуду 25 суток. Третья гармоника продолжительностью 18 лет имеет амплитуду 20 суток.

Из трех макротипов циркуляции гармоник типа С имеют самые минимальные амплитуды (в два раза по сравнению с соответствующими гармониками других типов), а сами гармоник – наименьшую продолжительность.

Из выполненного анализа гармоник всех трёх типов циркуляции следует, что все они быстро сходятся, что предполагает наличие в них высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связность рядов. Это позволяет нам использовать их для построения сценария изменения осадков на перспективу.

Временной ряд осадков по станции Астана, как самый продолжительный в регионе, возьмем за основу для всей группы «ближайших соседей» для анализа и построения прогностического сценария.

Анализируя временной ряд осадков, отмечено, что в начале XX века имел максимум осадков. Этот климатический максимум (до 500 мм в отдельные годы) был настолько выраженным, что на остаток XX века он обеспечил отрицательный линейный тренд, и ряд исследователей, начиная от этого времени, начали считать, что в регионе началось климатическое понижение осадков, обусловленное глобальным потеплением [5].

**Результаты:** В результате выполненных исследований мы получили следующее.

1. Временные ряды температуры при гармоническом анализе первые три гармоник, как правило, выбирают около 90% дисперсии. Благодаря этому возможно построение сценариев на перспективу в предположении сохранности первых гармоник разложения.

2. Гармоник временных рядов метеорологических станций в пределах региона Северного Казахстана очень сходны. Это позволяет применить метод «ближайших соседей», взяв для анализа одну станцию из группы.

3. Температура в Северном Казахстане в течение ближайших 50 лет будет понижаться в пределах амплитуды вековой гармоник, около 2°C к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижением амплитуды вековой гармоник, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном отрезке, не превысят 0.8 °С.

4. На период до 2050г. в Северном Казахстане наиболее вероятен ход осадков с небольшими климатическими колебаниями с максимумами в настоящее время и в тридцатые годы XXI века и с минимумом около 2020-25 гг., амплитуда колебаний ±20мм от нормы.

5. Несмотря на то, что в ближайшие десятилетия ожидается понижение температуры в регионе, способствующее понижению испарения, а осадки ожидаются около нормы, адаптационные мероприятия в сельском хозяйстве необходимы ввиду большой межгодовой изменчивости количества осадков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы / А.А. Гирс. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 488 с.

2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вероятностные метеорологические прогнозы / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 270 с.

3. Синоптические процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио [и др.]. – Ташкент: Изд. АН Узбекской ССР, 1957. – 447 с.

4. Справочник по климату Казахстана // Многолетние данные. Атмосферные осад-