

УДК 551.558 (574)

**К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В РАЙОНЕ
ЩУЧИНСКО-БОРОВСКОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЫ**

Канд. геогр. наук

С.А. Долгих

А.В. Чередниченко

Оценены современные тенденции в ходе температуры приземного воздуха и количества осадков в районе Щучинско-Боровской курортной зоны. Рассмотрены различные сценарии возможного изменения климата в будущем. При этом использовались результаты расчетов по различным моделям ОЦА, а также инкрементальные сценарии. Выполнен анализ уязвимости условий увлажнения исследуемого района при различных сценариях изменения климата.

Климат и его возможные изменения в ближайшем и отдаленном будущем является важнейшей проблемой для человечества. Естественно, что ей уделяется большое внимание учеными всего мира. Согласно оценке Межправительственной Группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), с 1750 года концентрация диоксида углерода в атмосфере увеличилась на 31 %, в глобальном масштабе 1990-ые годы были самым теплым десятилетием, а 1998 год – самым теплым за время инструментальных наблюдений с 1861 года [13]. Реконструкция климата за последние 1000 лет, а также модельные оценки естественной изменчивости климата дают основание предполагать, что наблюдаемое в течение последних ста лет потепление маловероятно полностью носило естественный характер. Кроме того, исследования по обнаружению изменения климата и выявлению его природы подтвердили очевидность антропогенного сигнала в климатических данных за последние 35-50 лет. Потенциал глобального потепления с 1990 г. по 2100 г. по оценкам МГЭИК составляет 1,4-5,8 °С.

Проблемой изменения климата над Северным полушарием, Средней Азией и Казахстаном занимались многие авторы [1-4, 6-9, 12 и др]. Методика анализа к настоящему времени уже хорошо отработана, и мы на ней останавливаться не будем.

Северный Казахстан является основным сельскохозяйственным районом нашей Республики. Здесь выращиваются зерновые и бобовые

культуры, широко развито животноводство. Северный Казахстан является также и рекреационной зоной. Чистые озера, окруженные невысокими красивыми горами, поросшими лесом, в сочетании с благоприятными климатическими условиями, по крайней мере в теплую часть года, делают этот регион чрезвычайно привлекательным местом для отдыха и туризма.

Поэтому представляет интерес рассмотреть, что произойдет с этим регионом при разных сценариях будущего климата. В данной работе рассмотрены уже имеющиеся данные изменения климата в районе Щучинско-Боровской курортной зоны и оценены дальнейшие возможные трансформирование до 2050 г на основе многолетнего хода температуры и осадков на станциях региона, трендов этого хода и сравнения с прогностическими данными по моделям Общей Циркуляции Атмосферы (ОЦА). Обнаруженные нами изменения увязаны с увеличением температуры и уменьшением осадков на территории Казахстана и всего Северного полушария, которые обнаружены современными исследованиями, в т.ч. по моделям ОЦА. Естественно, что наши данные должны удовлетворительно согласовываться с такими крупномасштабными и глобальными изменениями климата.

Климат данной территории является континентальным и характеризуется большими амплитудами температуры, влажности и других метеорологических элементов как в их суточном, так и в годовом ходе. В табл. 1 приведены данные для трех метеорологических станций, которые наиболее близко расположены к Щучинско-Боровской курортной зоне. Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца – июля, составляет 18,0 . . . 20,5 °С, а самого холодного – января, соответственно, минус 16,0 . . . 19,0 °С. Годовая амплитуда средних месячных температур воздуха равна 34,0 . . . 39,5 °С.

Таблица 1
Средняя месячная и годовая температура воздуха (°С),
период 1951 . . . 80 гг.

Станция	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Володарское	-16,9	-16,1	-9,4	3,3	12,0	17,0	18,7	16,2	10,9	1,9	-7,5	-14,0	1,3
Кокчетав	-16,1	-15,5	-9,3	3,2	12,2	17,6	19,6	17,0	11,4	2,7	-6,7	-13,7	1,9
Щучинск	-17,1	-16,1	-9,6	3,1	11,4	16,7	18,4	15,7	10,4	1,5	-7,9	-14,4	1,0

В отдельные жаркие дни температура воздуха повышается до 39 . . . 42 °С (абсолютный максимум), а в очень суровые зимы на равных

открытых местах понижается до минус 52. . . 54 °С, в пониженных частях рельефа до минус 54 . . . 56 °С (абсолютный минимум). Абсолютная годовая амплитуда составляет 91. . . 96 °С. В годовом ходе средние месячные отклонения температуры воздуха имеют максимум в зимний период, достигая 3,8 . . . 3,9 °С. Летом же эти величины составляют 1,5. . . 1,6 °С. Это указывает на большую неустойчивость зимних температур и относительно высокую стабильность летних температур.

В зимний период данная территория находится под влиянием мощного западного отрога сибирского антициклона, который приносит ясную погоду с устойчивыми морозами, наблюдающуюся в течение 70 % всех дней зимнего периода. Осадков в это время выпадает мало. Устойчивый снежный покров держится около 5 месяцев, однако, высота его даже в период максимального накопления не превышает 20. . . 35 см. Ввиду маломощности снежного покрова почва в среднем промерзает до 1,5 м, а в отдельные годы до 2,5 м.

В отличие от равнинных областей Северного Казахстана, существенное влияние на климат данной территории оказывает сильно расчлененный мелкосопочный рельеф [10]. Пересеченный рельеф территории способствует выпадению повышенного количества осадков по сравнению с равниной и обеспечивает более их равномерное внутригодовое распределение (табл. 2). Засухи здесь реже и менее интенсивны, чем на окружающих их равнинах. Наибольшее количество осадков выпадает на склонах западной экспозиции, наименьшее – на восточных. При юго-западных ветрах на подветренных склонах мелкосопочных

дится под влиянием континентального воздуха, трансформирующегося из циклонов арктических масс, а также циклонов, приходящих со стороны Атлантического океана, которые играют большую роль в образовании осадков. В аномально влажные годы количество выпадающих осадков может почти в два раза превышать средние многолетние величины, а в аномально засушливые годы – составлять 60. . . 70% от этих величин.

Продолжительность теплого периода с температурой выше 0°C составляет в среднем 195 дней. Безморозный период на открытых ровных местах бывает 100. . . 125 дней, а в холодных частях микрорельефа сокращается до 85. . . 100 дней. Неблагоприятными для сельского хозяйства климатическими факторами на территории области являются поздние весенние и ранние осенние заморозки, суровые условия перезимовки, неравномерное выпадение осадков, засухи и суховеи.

Анализ многолетних тенденций изменения климата, а именно температуры приземного воздуха и количества осадков, проводился по данным наблюдений метеорологических станций Володарское, Кокчетав и Щучинск за период с 1936 г. по 1997 г. Анализировались параметры линейного тренда во временном ходе месячных и годовых температур воздуха и сумм осадков, который характеризует изменение среднего уровня этих метеорологических величин [11].

Температура.

Временной ход средних многолетних годовых температур воздуха по перечисленным станциям приведен на рис. 1. Можно видеть, что для всех станций характерен положительный тренд температуры, составляющий для М Володарское 0,17, для М Кокчетав – 0,22 и для М Щучинск – 0,01 $^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Анализ параметров линейного тренда показал статистическую значимость наблюдаемых тенденций в ходе годовых температур.

Рассмотрим внутригодовую структуру тренда температуры приземного воздуха. Наибольшая величина положительного тренда температуры наблюдается в зимний период в декабре и январе. Она составляет на М Володарское 0,45. . . 0,46 $^{\circ}\text{C}/10$ лет, на М Кокчетав – 0,59. . . 0,42 $^{\circ}\text{C}/10$ лет и на М Щучинск – 0,37. . . 0,35 $^{\circ}\text{C}/10$ лет. В феврале тренды температуры незначительны. В весенние месяцы на всех трех станциях тренд температуры положителен. Максимальная и статистически значимая величина тренда в марте. На М Володарское она составила 0,38 $^{\circ}\text{C}/10$ лет, на М Кокчетав – 0,3 $^{\circ}\text{C}/10$ лет, на М Щучинск – 0,21 $^{\circ}\text{C}/10$ лет. В остальные весенние месяцы величина тенденции составляет менее 0,2 $^{\circ}\text{C}/10$ лет. В июне тенденции температуры положи-

тельны и значимы на всех станциях, наибольший тренд – на М Володарское ($0,37\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ в июне). В июле повышение температуры составило $0,12 \dots 0,23\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$.

В августе и сентябре все три станции имеют незначимый отрицательный тренд температуры. В октябре на всех станциях тенденция изменения температуры снова становится положительной, но наблюдаемый тренд в этом месяце статистически неустойчив.

Таким образом, положительный тренд средней годовой температуры приземного воздуха, имеющий место на всех трех станциях за 60-летний период, складывается из повышения температуры во все месяцы периода с октября по июль. Наиболее значительный рост температуры происходил в декабре-январе, марте и июне. Добавим, что в [9] дана карта ожидаемого изменения поля температуры над Северным полушарием. Расчеты выполнены по одной из моделей, разработанной в России. Результаты расчетов хорошо согласуются с полученными данными о наблюдаемых тенденциях. К сожалению, у нас не было возможности воспользоваться данной моделью.

Осадки.

Многолетний ряд годовых сумм осадков на рассматриваемых станциях хотя и имеет положительный тренд (рис. 2), но незначительный по величине в сравнении с межгодовой изменчивостью. Не наблюдается устойчивых тенденций и во временном ходе месячных сумм осадков – величины трендов незначительны, а знак тенденции меняется от месяца к месяцу. Совместный анализ изменений средних уровней температуры и осадков показывает, что в исследуемом регионе происходило повышение температуры приземного воздуха на фоне практически неизменного среднего уровня количества осадков. Исключение составляет период август – сентябрь, когда наблюдалось понижение температуры воздуха.

Моделирование.

Моделирование изменения климата под влиянием внешних факторов, принято называть разработкой сценариев изменения климата. Сценарии изменения климата необходимы как первый шаг при оценке уязвимости и выработке адаптационных мер для экосистем и природоёмких отраслей экономики к потенциальным изменениям климатических условий.

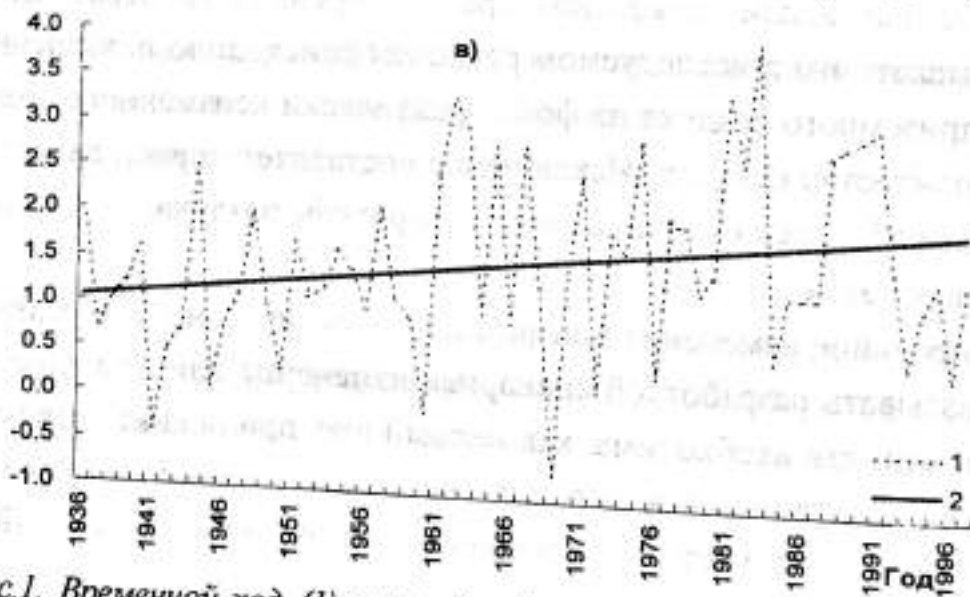
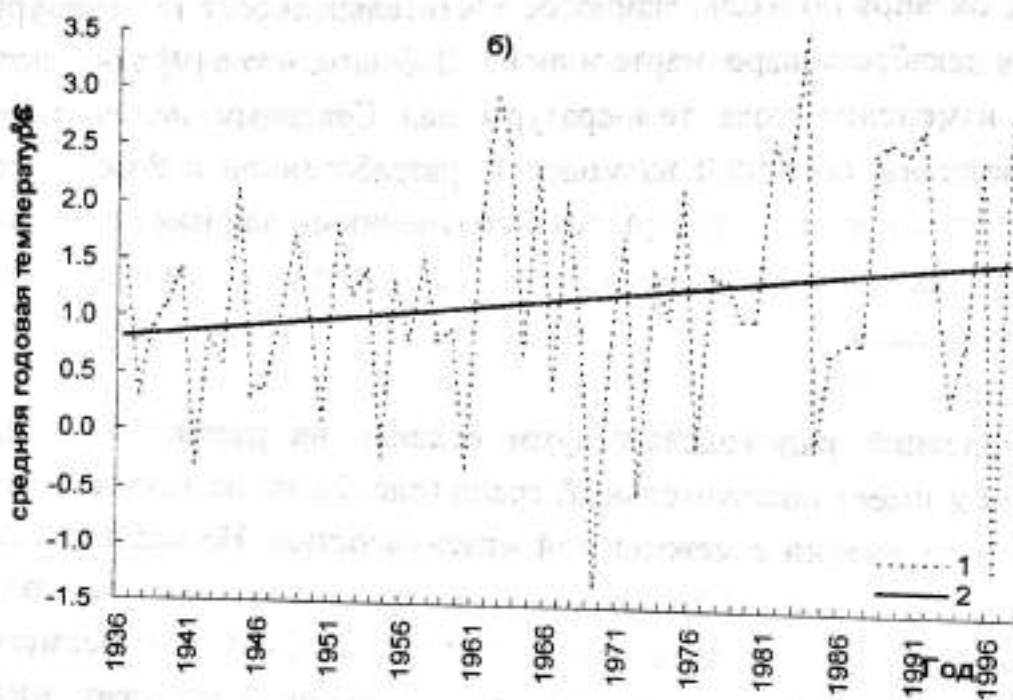
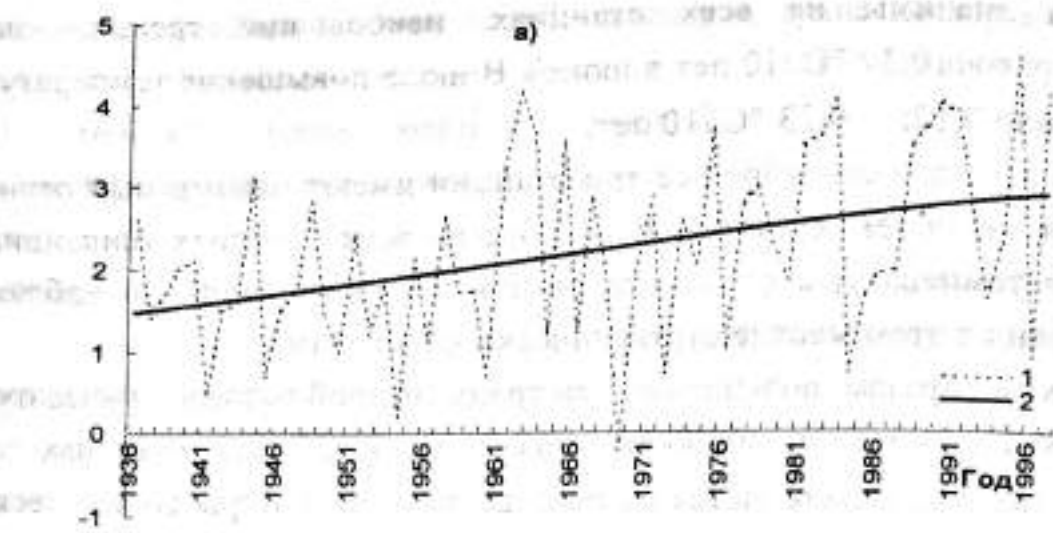


Рис.1. Временной ход (1) и линейный тренд (2) средней годовой температуры воздуха в Щучинско-Боровской курортной зоне: а - Кокчетав; б - Щучинск; в - Володарское.

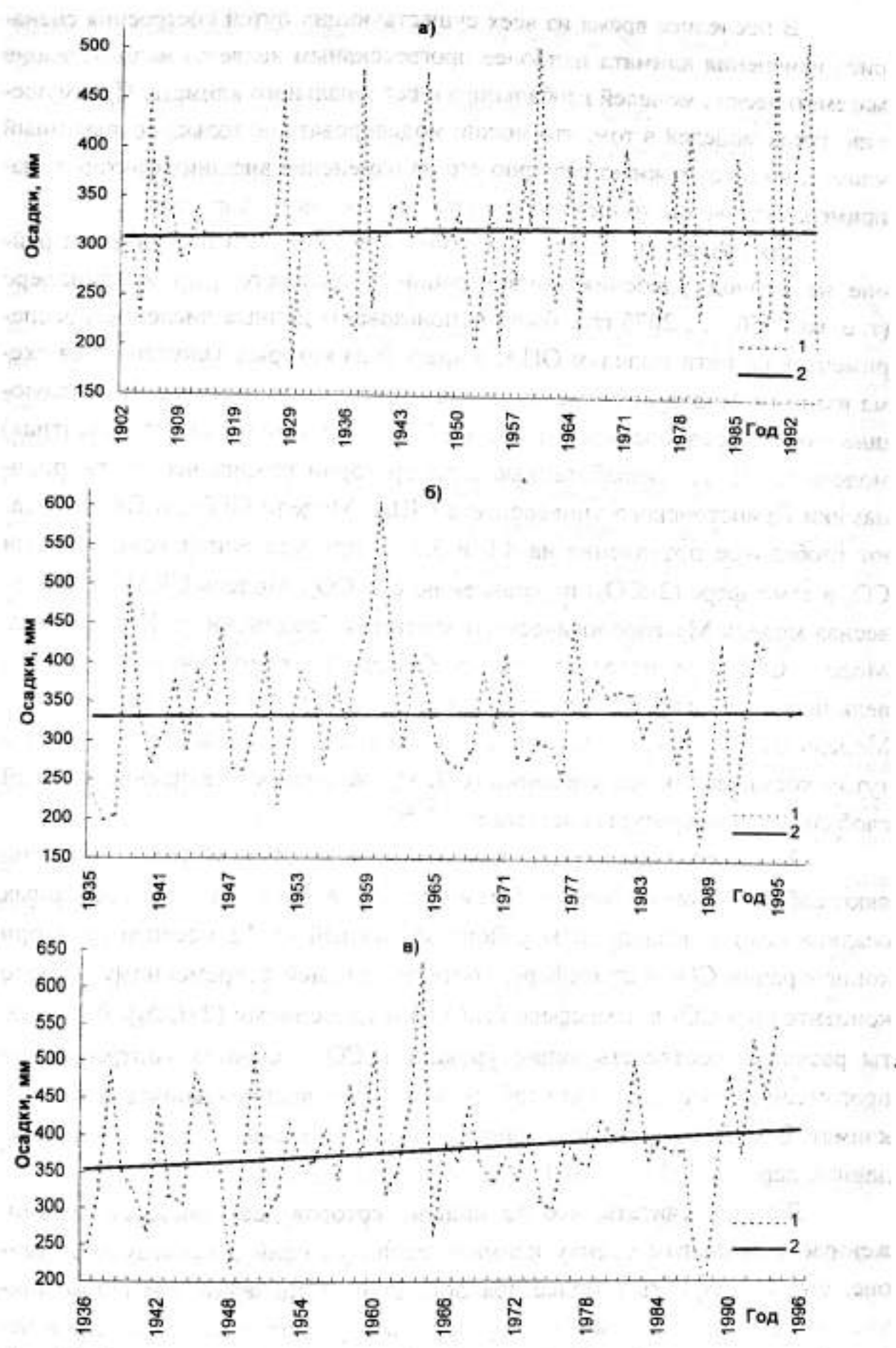


Рис. 2. Временной ход (1) и линейный тренд (2) годовых сумм осадков в Щучинско-Боровской курортной зоне: а- Кокчетав; б - Щучинск; в-Володарское.

В последнее время из всех существующих путей построения сценариев изменения климата наиболее прогрессивным является использование математических моделей глобального и регионального климата. Преимущество таких моделей в том, что можно моделировать не только современный климат, но и возможную реакцию его на изменение внешних факторов, например, увеличение концентрации парниковых газов и аэрозоля.

Для разработки сценариев изменения климата в исследуемом районе на период удвоения концентрации углекислого газа в атмосфере (т. е. на 2050 . . . 2075 гг.), были использованы данные численных экспериментов по пяти моделям ОЦА, в каждой из которых заложена своя схема взаимодействия атмосфера – земная поверхность – океан. Это следующие модели. Равновесная модель GFDL и неравновесная (транзиентная) модель GFDL-T, разработанные в лаборатории геофизической гидродинамики Принстонского университета США. Модели GFDL и GFDL-T дают глобальное потепление на 4,0 и 3,2 °С при удвоенной концентрации CO₂ в атмосфере (2×CO₂) по сравнению с 1×CO₂. Модель UKMO - равновесная модель Метеорологического агентства Соединенного Королевства. Модель CCC - равновесная модель Канадского климатического центра, величина глобального потепления по моделям UKMO и CCC равна 3,5 °С. Модель GISS - равновесная модель, разработанная Годдардовским институтом космических исследований (США), ожидаемое повышение средней глобальной температуры составляет 4,2 °С.

Результаты численных экспериментов по этим моделям представляют собой данные о приземной температуре воздуха (°С) и атмосферных осадков (мм) в исследуемом районе за каждый из 12 месяцев года при концентрации CO₂ в атмосфере, соответствующей современному уровню концентрации CO₂ в атмосфере (1×CO₂) и удвоенному (2×CO₂). Результаты расчетов, соответствующие уровню 1×CO₂ являются контрольными прогонами и показывают способность моделей воспроизводить реальный климат. В качестве реальных климатических условий в модели заложены данные периода 1951 . . . 1980 гг., назовем его базовым.

Логично считать, что по модели, которая дает наиболее приближенную к реальным оценку климатических условий в исследуемом районе, можно получить и более правдоподобный сценарий изменения климата в будущем. Поэтому были рассчитаны разности между воспроизведенными моделями и фактическими многолетними данными за базовый

период по средним месячным температурам воздуха и месячным суммам осадков.

Расчеты показали, что смоделированный климат отличается от реального, а в распределении отличий между смоделированными и фактическими данными существует некоторая сезонность, которая по-разному проявляется в каждой модели [7, 9, 10]. Например, модели UKMO и CCC достаточно плохо воспроизводят температуру приземного воздуха. По модели UKMO температура воздуха оказалась значительно заниженной во все месяцы года. По модели CCC занижается температура первой половины года и завышается температура второй половины года. Модели GFDL-T, GISS и GFDL относительно хорошо моделируют средние месячные температуры воздуха, причем, если судить по сумме отклонений от фактических температур, то наилучшие результаты выдает модель GISS, затем транзиентная модель GFDL-T, и затем – равновесная модель GFDL.

Результаты моделирования современного уровня осадков следующие. Модель CCC, хотя и повторяет конфигурацию фактического годового распределения осадков (с максимумом в летние месяцы), но значительно завышает количество осадков во все месяцы года. Таким образом, по данным модели CCC климат в районе более прохладный и влажный, чем в действительности. Остальные модели завышают осадки для большинства месяцев холодного полугодия, осадки теплого полугодия, наоборот, являются заниженными. В результате, по моделям GISS и GFDL осадки имеют сглаженный годовой ход, по моделям GFDL-T и UKMO максимум осадков выпадает на весенние месяцы.

Такое качество моделирования осадков с помощью моделей общей циркуляции атмосферы объясняется тем, что современный уровень технических ресурсов не позволяет производить расчеты для более мелкой координатной сетки, что, в свою очередь, позволило бы более детально учитывать орографию и мезо-масштабные циркуляционные процессы. Эти два фактора играют ключевую роль в формировании полей осадков.

Из приведенного выше анализа, а также по результатам предыдущих исследований возможностей моделей ОЦА воспроизводить современные климатические условия для других регионов Казахстана [1, 2] следует выделить модель GISS как наилучшую для использования в данной работе. В табл. 3 приведены результаты расчета изменения температуры приземного воздуха и количества осадков по модели GISS на период 2050 . . . 2075 гг. Изменение представляет собой разность между средним уровнем темпера-

туры (или количества осадков) в прогнозируемый период и нормой температуры (или количества осадков) за период 1951 . . . 1980 гг.

Таблица 3

Изменение средней месячной температуры приземного воздуха (ΔT , °C) и суммы осадков (ΔR , %) рассчитанное по модели GISS

Месяц	Станция					
	Кокчетав		Щучинск		Володарское	
	ΔT	ΔR	ΔT	ΔR	ΔT	ΔR
1	6,9	24	6,8	17	6,9	30
2	8,4	80	8,7	88	8,3	75
3	6,2	24	6,6	19	6,1	28
4	5,4	6	5,4	8	5,4	3
5	2,3	87	2,3	97	2,4	83
6	3,2	55	3,3	77	3,2	45
7	4,1	32	4,1	47	4,2	26
8	5,0	34	4,9	35	4,9	32
9	3,2	48	3,0	69	3,4	28
10	4,8	36	4,8	36	4,7	33
11	4,2	11	4,3	12	4,2	9
12	7,4	94	7,4	111	7,2	77
Год	5,1	44	5,1	51	5,1	39

Анализ результатов моделирования изменения основных характеристик климата показывает, что в исследуемом районе ожидается значительное повышение средних месячных температур воздуха, сопровождаемое увеличением количества осадков также во все месяцы года. Повышение средней годовой температуры воздуха на всех станциях составляет 5,1 °C, годовое количество осадков увеличится на 40 %.

Необходимо также отметить более высокую чувствительность существующих моделей общей циркуляции атмосферы к увеличению концентрации CO₂ в атмосфере, чем имеет климатическая система в действительности. Поэтому к полученным сценариям следует подходить с определенной долей осторожности. Однако, для условий Казахстана сохранение тенденции к потеплению, даже не столь значительной, как предсказывают модели ОЦА, может негативно отразиться на природных ресурсах и экономике Республики.

Совместный анализ сочетания изменения температуры и осадков позволяет оценить возможные изменения условий увлажнения в данном районе. В глобальном масштабе при росте температуры ожидается увеличение количества осадков за счет возрастания испаряемости. Но в регио-

нальном масштабе последний фактор за счет значительного повышения температуры может привести к дополнительному иссушению климата.

В качестве комплексного показателя ландшафтно-экологических условий исследуемого региона в данной работе был использован коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (K):

$$K = X_{год} / E_{о год},$$

где $X_{год}$ – годовая сумма осадков (мм), $E_{о год}$ – годовая величина испаряемости (мм). Испаряемость рассчитывалась по формуле Тюрка с поправочным коэффициентом Е.Н. Вилесова [5]:

$$E_{о год} = 2,33 \cdot (300 + 25t + 0,05t^2),$$

здесь t – средняя годовая температура воздуха в °С.

Расчеты проводились для климатических условий базового периода (1951 . . . 1980 гг.), а также при смоделированном изменении температуры и осадков. Кроме того, с учетом того, что модели явно завышают увеличение температуры, сопровождающее рост концентрации CO_2 в атмосфере, дополнительно коэффициент увлажнения был рассчитан для инкрементального сценария изменения средней годовой температуры воздуха – повышение температуры на 2 °С, но при различном изменении годового количества осадков: на 0 % и на 20 %. Таким образом, эти два сценария являются промежуточными по отношению к сценарию по модели GISS.

В результате получено, что при современных климатических условиях коэффициент увлажнения составляет 0,5, то есть Щученско-Боровская курортная зона находится в пограничных условиях лесостепи и степи. При сохранении наблюдавшихся тенденций изменения климата за период 1936 . . . 1997 гг., то есть повышение средней годовой температуры на 0,2 °С за 10 лет при неизменном количестве осадков (инкрементальный сценарий: $\Delta t = 2$ °С, $\Delta R = 40$ %), коэффициент увлажнения уменьшается до 0,4. Соотношение изменения температуры и осадков при инкрементальном сценарии, согласно которому повышение на 0,2 °С сопровождается увеличением количества осадков на 20 %, а также по сценарию модели GISS ($\Delta t = 5$ °С, $\Delta R = 40$ %) приводит к тому, что данное повышение температуры компенсируется соответствующим увеличением количества осадков. Таким образом, величина коэффициента увлажнения остается на современном уровне.

Выводы. Анализ трендов во временном ходе температуры приземного воздуха и количества осадков по данным метеорологических

станций Кокчетав, Щучинск и Володарское за период 1936 . . . 1997 гг. показывает, что в данном районе устойчивый рост средней годовой температуры (около $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет), обуславливает в основном, повышением температуры в зимний период. Количество осадков как в годовом, так в месячном осреднении, практически, не изменилось.

Сценарий изменения регионального климата на период 2050 . . . 2075 гг. по выбранной для данного исследования модели GISS показывает что, в Щучинско-Боровской курортной зоне следует ожидать дальнейшего повышения средней годовой температуры приземного воздуха (на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Наиболее значительное повышение, так же как и за период 1936 . . . 1995 гг., ожидается в зимние месяцы (на $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. . . $8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Годовое количество осадков увеличится примерно на 40% , причем, за счет более существенного увеличения осадков зимнего периода. Таким образом, в период 2050-2075 гг. годовой ход температуры и осадков будет более сглаженным по сравнению с современными климатическими условиями. К результатам расчетов по моделям ОЦА следует относиться критически. Наиболее ценным результатом расчетов по моделям можно признать пока знак тенденции.

Анализ ожидаемых условий увлажнения при различных сценариях изменения климата дает основание полагать, что на начальных этапах развития глобального потепления, которое в исследуемом районе проявляется в повышении температуры воздуха при неизменном среднем уровне количества осадков, увлажненность может ухудшиться. В дальнейшем при развитии глобального потепления, согласно теории изменения глобального климата, количество осадков в средних и высоких широтах будет увеличиваться, условия увлажнения могут быть на современном уровне. Анализ уязвимости показал, что для сохранения современных условий увлажнения рост средней годовой температуры воздуха на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ должен компенсироваться 20% -ым увеличением годового количества осадков, на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - увеличением осадков на 40% .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В., Священников П.Н. Естественная изменчивость характеристик климата Северной полярной области и северного полушария. - Л.: Гидрометеоздат, 1991. - 157 с.
2. Борисенков Е.П., Кондратьев К.Я. Кругооборот углерода и климат. - Л.: Гдрометеоздат, 1988. - 320 с.
3. Будыко М.И. Изменения климата. - Л.: Гидрометеоздат, 1974. - 290 с.

