

УДК 633:551.50

Канд. геогр. наук С.С. Байшоланов \*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В ЩУЧИНСКО-БОРОВСКОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЕ НА ОСНОВЕ ИХ ЦИКЛИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ***ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, ИНДЕКС ИЗМЕНЕНИЯ, ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ, СИНУСОИДАЛЬНОЕ КОЛЕБАНИЕ*

*Проведен гармонический анализ рядов температуры и осадков, смоделированы их прогнозные колебания, а также дана оценка их возможного влияния на изменение других компонентов экологической системы.*

В III-VI Национальном сообщении РК Рамочной конвенции ООН об изменении климата для прогноза вероятного изменения климата казахстанскими климатологами использовался ансамбль из 15 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) проекта СМIP3 [1]. В работах [2, 7] были приведены результаты исследования произошедших и ожидаемых изменений климата в районе Щучинско-Боровской курортной зоны (ЩБКЗ), где были использованы результаты расчетов по МОЦАО. Прогноз средних месячных температур воздуха и сумм осадков, сделанный на основе расчетов по МОЦАО определяет их значения, осредненные за 30-й летний период. Например, прогноз на 2030 год характеризует среднюю температуру за 2015...2045 гг., прогноз на 2050 год – за 2035...2065 гг. На основе таких прогнозных данных сложно проводить расчеты по определению временной динамики состояния отдельных компонентов экологической системы. Например, прогноз изменения уровня (объема) озер Щучинско-Боровской курортной зоны (ЩБКЗ) до 2030 года. Для проведения подобных расчетов необходим прогноз динамики (изменения) самих метеоэлементов на период до 2030 гг.

Для прогноза многолетней динамики метеоэлемента сначала необходимо провести гармонический анализ ряда и установить цикличность его колебаний. Далее, на основе установленных закономерностей колебания и тен-

---

\* Институт географии, г. Астана

денции изменения, с применением формулы синусоидального тока (колебания) можно смоделировать его будущее колебание и изменение.

Всем известно, что различают понятия «изменчивость климата», «колебание климата» и «изменение климата». Под изменчивостью климата понимают изменение климатических показателей за относительно кратковременный период, имеющее обратимый характер. Колебанием климата считается изменение климатических показателей за длительный период, также имеющее обратимый характер. Если изменение климатических показателей имеет не обратимый характер, то это является изменением климата [4].

Для моделирования циклических колебаний можно использовать различные математические методы. Например, если многолетний ход какого-либо показателя носит периодический характер, то такому изменению соответствует периодическая функция Фурье [6, 9]. Для выявления циклов колебаний климата, температуры воздуха или осадков за многолетний период можно использовать один из методов преобразования Фурье – разложение в тригонометрический ряд Фурье. Аналитической формой циклической волны служит тригонометрический многочлен вида [9]:

$$\hat{Y}_t = a_0 + \sum_{k=1}^m (a_k \cos kt + b_k \sin kt), \quad (1)$$

где  $\hat{Y}_t$  – преобразованные в ряды Фурье значения исследуемого параметра;  $k$  – порядковый номер гармоники ряда Фурье;  $m$  – число гармоник;  $n$  – продолжительность многолетнего ряда;  $t$  – время, принимающее значение  $0; 2\pi/n; 2 \cdot 2\pi/n; 3 \cdot 2\pi/n; \dots (n-1) \cdot 2\pi/n$ .

Параметры  $a_0, a_k, b_k$  находятся в соответствии с методом наименьших квадратов и задаются следующими соотношениями:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum Y_t, \quad a_k = \frac{2}{n} \sum Y_t \cos kt, \quad b_k = \frac{2}{n} \sum Y_t \sin kt.$$

При выравнивании многолетних данных по ряду Фурье обычно рассчитывают не более четырех гармоник, а затем определяют, при каком числе гармоник наилучшим образом отражается периодичность изменения уровней ряда. В процессе преобразования в ряды Фурье происходит выравнивание резких скачков метеоэлемента из года в год, и вырисовывается кривая с плавными колебательными волнами.

На основе установленной многолетней циклической природы колебания метеоэлемента можно смоделировать его колебание в будущем. Для этого

нужно продолжить колебание преобразованного в ряды Фурье метеоэлемента еще на 1 период колебания. Для этой цели можно использовать формулу синусоидального колебания [3, 8]:

$$h = A \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

где  $h$  – значение колебания в определенный момент времени (высота полуволны в определенные годы);  $A$  – амплитуда колебаний;  $\omega$  – циклическая частота:  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ , где  $f$  – частота колебания,  $T$  – период колебания ( $f = 1/T$ );  $t$  – момент времени (порядковый номер года);  $\varphi$  – начальная фаза колебания.

После установления многолетней цикличности колебания и тенденции изменения метеоэлемента очень важным является определение его изменения в результате колебания климата и в результате изменения климата. Такое разделение дает возможность оценить влияние изменения состояния метеоэлемента на другие компоненты окружающей экологической системы.

Естественная экологическая система (биоценоз и биотоп) обладает определенной устойчивостью к внешним изменениям и способна адаптироваться, в том числе и к климатическим изменениям. Обычно составляющие экосистемы адаптированы к естественному колебанию климата. Поэтому можно предположить, если величина изменения климата будет превышать величину колебания климата, то это может превышать адаптационные возможности экосистемы, т.е. окажет существенную нагрузку и повлияет на состояние компонентов экосистемы.

Для оценки значимости изменения метеорологического элемента в результате изменения климата вводим понятие «Индекс изменения метеоэлемента» ( $I$ ) – относительный показатель, представляющий собой величину изменения метеоэлемента в результате изменения климата относительно значений колебания климата, выраженный в процентах. Для качественной оценки уровня возможного влияния изменения метеоэлемента на состояние компонентов экологической системы предлагаем условную шкалу критериев индекса изменения:

$I$ , %	Уровень влияния на экосистему
< 50	– не оказывает влияния
51...80	– оказывает слабое влияние
81...120	– оказывает умеренное влияние
> 120	– оказывает сильное влияние

Для исследования цикличности климата в районе ЩБКЗ проведем гармонический анализ многолетнего (1935...2013 гг.) ряда температуры

воздуха и сумм осадков на М Щучинск и смоделируем их дальнейшее колебание до 2030 г. При этом проведем оценку влияния этих изменений на экологическую систему ЩБКЗ.

**Гармонический анализ многолетнего ряда температуры воздуха.** Для подробного анализа многолетней цикличности температурного режима на М Щучинск рассмотрим многолетние ряды температуры воздуха средней за год, средней за теплый период (апрель – октябрь) и средней за холодный период (ноябрь – март) года.

Необходимость раздельного анализа рядов сезонной температуры воздуха, связана с тем, что средняя годовая температура не может в полном объеме характеризовать особенностей формирования температурных условий в течение года. Были преобразованы в тригонометрический ряд Фурье многолетние ряды средней за год, средней за теплый период года и средней за холодный период года температуры воздуха, а также построены соответствующие графики. Из рассчитанных четырех гармоник наиболее подходящим оказался ряд Фурье четвертой гармоники. Кривые значений температуры, преобразованные в тригонометрические ряды Фурье, достаточно хорошо отражают периодичность изменения фактической температуры воздуха. Многолетние ряды средней годовой температуры воздуха, а так же за теплый и холодный периоды имеют тенденцию к росту, но с разными темпами.

На рис. 1 приведен график средней годовой температуры воздуха. Для наглядности на один график помещены линии кривых всех трех преобразованных рядов температуры в ряды Фурье. Чтобы они были сопоставимы между собой, на графике их представили в виде отклонений от средних многолетних значений (рис. 2).

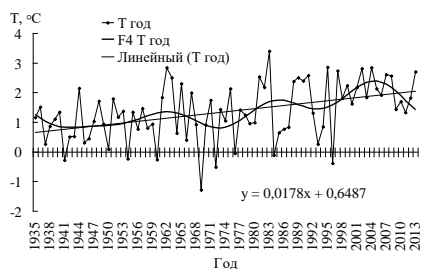


Рис. 1. Многолетняя динамика и линия тренда средней за год температуры воздуха ( $T_{год}$ ), ее преобразованных значений в ряды Фурье четвертой гармоники ( $F4T_{год}$ ).

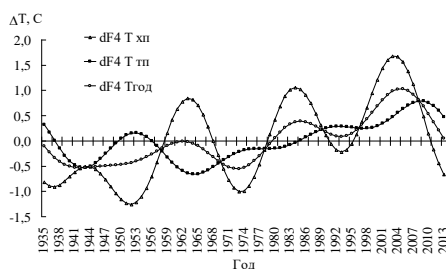


Рис. 2. Тригонометрический ряд Фурье четвертой гармоники отклонений от среднемноголетних значений температуры воздуха за год ( $dF4T_{год}$ ), за теплый период ( $dF4T_{тп}$ ) и за холодный период ( $dF4T_{хп}$ ).

$$(dF4T_{xn}).$$

В результате анализа цикличности колебаний температуры воздуха за разные сезоны и за год были установлены следующие особенности:

1. колебания средней температуры (годовой, за теплый и холодный периоды) имеют тенденцию роста, которая более четко проявляется с конца 60-х годов 20 века;
2. колебания средней годовой температуры воздуха имеют в среднем 20-ти летний период (цикл). Максимумы наблюдались в 1962, 1984, 2004 гг. Минимумы – в 1973, 1993 и очевидно в 2013 гг.;
3. средняя за теплый период года температура воздуха имеет 17...21-летние периоды колебания. Максимумы наблюдались в 1953, 1974, 1991, 2009 гг., минимумы – в 1943, 1964, 1981, 1999 гг. Амплитуда колебаний средней за теплый период температуры воздуха в первой половине рассматриваемого периода сокращается, а во второй половине увеличивается (рис. 2 и 4);
4. наибольшую амплитуду колебания имеет средняя температура воздуха за холодный период года. Период её колебания почти совпадает с колебаниями средней годовой температуры, и составляет 19...21 лет. Максимумы наблюдались в 1944, 1963, 1984, 2003 гг., минимумы – в 1952, 1973, 1993 гг. и очевидно в 2013 г.;
5. все три кривые колебаний пересекаются или сближаются поочередно с малой (8 лет) и большой (11 лет) периодичностью в следующие года: 1943, 1958, 1969, 1978, 1989, 1997, 2008 гг.

Установленная периодичность колебаний рядов температуры воздуха, в определенной степени соответствует периодам солнечной активности. Например, в колебаниях солнечной активности и колебаниях атмосферной циркуляции присутствуют одинаковые циклы: 7, 12, 19...22 и 60-летний [5].

Определим изменение температуры воздуха в результате колебания климата и в результате изменения климата, с дальнейшим определением индекса изменения температуры воздуха ( $I_T$ ) и оценкой уровня их влияния на состояние экологической системы.

Изменение средней годовой температуры воздуха в результате колебания климата можно определить, как наибольший размах колебаний, с вычетом с него величины трендовой составляющей. Изменение средней годовой температуры воздуха в результате изменения климата можно определить на основе линии тренды многолетнего ряда.

Анализ линии тренды многолетнего ряда по уравнению прямой показывает, что средняя годовая температура воздуха на М Щучинск за последние 79 лет выросла на 1,3 °С, средняя температура за теплый период – на 0,9 °С, средняя температура за холодный период – на 1,7 °С. Получается, что процесс потепления протекал быстрее в холодный период года.

Расчеты показали, что за истекший 79 лет (1935...2013 гг.) в районе Щучинска изменение средней годовой температуры воздуха в результате колебания климата составило 0,9 °С, а в результате изменения климата – 1,3 °С. Тогда индекс изменения средней годовой температуры воздуха составляет 144 % и оценивается как сильное влияние на состояние экосистемы (табл. 1).

Таблица 1

Изменение температуры воздуха в результате колебания климата и изменения климата, а также индекс изменения температуры ( $I_T$ ) за период с 1935 по 2013 гг.

Период	Амплитуда колебания температуры, °С	Изменение температуры, °С	$I_T$ , %
Год	0,9	1,3	144
Теплый	0,7	0,9	129
Холодный	1,9	1,7	90

Изменение средней температуры воздуха за теплый период года в результате колебания климата составило 0,7 °С, а в результате изменения климата – 0,9 °С. Индекс изменения температуры воздуха теплого периода составил 129 % и также оценивается как сильное влияние на экосистему.

Изменение средней температуры воздуха за холодный период года в результате колебания климата составило 1,9 °С, а в результате изменения климата – 1,7 °С. Индекс изменения температуры воздуха холодного периода составляет 90 % и оценивается как умеренное влияние на экосистему. Изменение температурного режима за последние 79 лет окажет существенное влияние на компоненты экологической системы ЩБКЗ. Здесь необходимо отметить, что, не смотря на большее потепление холодного периода, большее влияние на состояние экосистемы оказывает изменение температуры теплого периода.

**Прогноз колебания и изменения температуры воздуха до 2030 года.** На основе установленной многолетней цикличности колебаний температуры воздуха, можно с определенной вероятностью прогнозировать температурный режим на ближайшие годы. Смоделируем колебания

средней годовой температуры воздуха на М Щучинск на 1 период, т.е. на ближайшие 20 лет. Для этого продолжим синусоидальное колебание преобразованной в ряды Фурье температуры воздуха ( $F4 T \text{ год}$ ) еще на 1 период, с помощью формулы синусоидального колебания (2). При этом процесс моделирования линии колебания состоит из следующих этапов:

1. определение тенденции изменения средней годовой температуры воздуха, т.е. линии тренда температуры воздуха ( $F4 T \text{ год}$ ), преобразованной в ряды Фурье за многолетний период, имеющей однотипное распределение (рис. 3);
2. выбор аналога из существующих четырех гармоник колебания;
3. определение периода колебания ( $T$ ) выбранной гармоники;
4. определение полуволны гармоники, которая имеет законченный цикл;
5. определение амплитуды колебания ( $A$ ) гармоники по выбранной полуволне;
6. вычисление ежегодных значений высот полуволны ( $h$ ), с точки начала полуволны до конца прогнозного периода;
7. прибавляя к значениям тренда ( $T$ ) в соответствующие годы значения высот полуволн ( $h$ ), получаем смоделированные значения рядов Фурье средней годовой температуры воздуха (Расч  $F4 T \text{ год}$ ) за период с точки начала полуволны до конца одного периода колебания. В нашем случае этот период длится от 1999 по 2034 год (рис. 4);
8. определение диапазона возможного отклонения фактических температур от смоделированной линии колебания годовой температуры воздуха (нижний (откл -) и верхний (откл +) пределы отклонения).

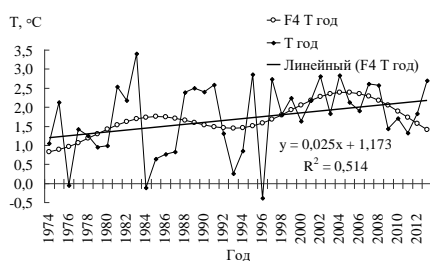


Рис. 3. Характеристики колебания и изменения средней годовой температуры воздуха за период 1974...2013 гг.

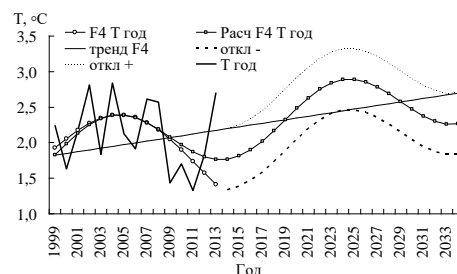


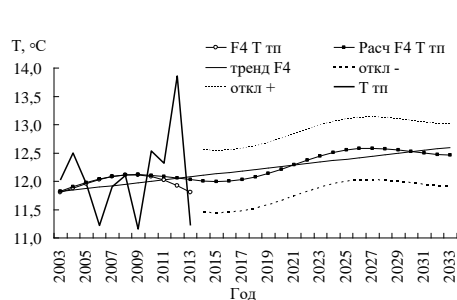
Рис. 4. Фактические ( $F4 T \text{ год}$ ) и смоделированные (Расч.  $F4 T \text{ год}$ ) колебания годовой температуры воздуха ( $T \text{ год}$ ) с 1999 по 2034 год.

Как видно на рис. 4, в верхней полуволне синусоиды (1999...2009 гг.) фактическая ( $F4 T \text{ год}$ ) и смоделированная

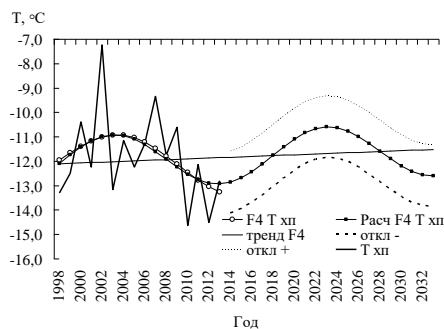
(Расч. F4 T год) линии почти совпадают, коэффициент корреляции между ними равняется 0,99. Надо отметить, что крайние значения кривой колебания всегда меняются при прибавлении к ряду последующих данных. Поэтому пренебрегаем возникающей разницей между фактическими и расчетными данными за 2012 и 2013 года. Соответственно, смоделированное синусоидальное колебание преобразованной в ряды Фурье годовой температуры воздуха (Расч. F4 T год) может быть показателем ожидаемого изменения температурного режима на период с 2014 по 2034 годы.

Таким образом, согласно прогнозным расчетам колебание средней годовой температуры воздуха на М Щучинск с 2014 года входит в фазу повышения и достигнет максимума к 2024 году, а далее снова пойдет на понижение, достигая минимума к 2034 году. В целом за период 2014...2034 гг. сохранится тенденция роста годовой температуры воздуха, связанная с потеплением глобального климата.

Для более подробного прогноза ожидаемого температурного режима в районе ЩБКЗ были проведены расчеты для средней за теплый и холодный периоды температуры воздуха (рис. 5 и 6).



*Рис. 5. Фактические (F4Tтп) и смоделированные (РасчF4Tтп) колебания средней за теплый период года температуры воздуха (T тп) с 1995 по 2033 год.*



*Рис. 6. Фактические (F4Tхп) и смоделированные (РасчF4Tхп) колебания средней за холодный период года температуры воздуха (T хп) с 1998 по 2033 год.*

Согласно расчетам автора, средняя за теплый период года температура воздуха на М Щучинск будет снижаться до 2016 года, а далее войдет в фазу повышения до 2026 года, затем снова войдет в фазу снижения (рис. 5). Средняя за холодный период года температура воздуха, наоборот, будет повышаться до 2023 года, а далее войдет в фазу понижения до 2033 года (рис. 6). Предполагается, что в период с 2014 по 2033 год процесс потепления будет протекать быстрее уже в теплый период года.



Проведенные расчеты показали, что до 2033 года в районе Щучинска изменение средней годовой температуры воздуха составит в результате колебания климата 0,8 °С, а в результате изменения климата – 0,5 °С. Здесь для расчета индекса изменения температуры нужно использовать наибольшее значение амплитуды, определенное за периоды 1935...2013 и 2014...2033 гг., т.е. 0,9 °С, имевшее место в первый многолетний период. Тогда значение индекса изменения температуры за период 2014...2033 гг. равняется 56 %, что оценивается как слабое влияние на экосистему (табл. 2).

Изменение средней за теплый период года температуры воздуха в результате колебания климата на период до 2033 года составит 0,6 °С, а в результате изменения климата – 0,5 °С. Тогда индекс изменения температуры воздуха теплого периода, с учетом колебаний в период 1935...2013 гг. составляет 71 %, и также оценивается как слабое влияние на экосистему (табл. 2).

Изменение средней за холодный период года температуры воздуха в результате колебания климата в период до 2033 года составит 2,0 °С, а в результате изменения климата – 0,3 °С. Индекс изменения температуры составляет 15 %, т.е. оно не окажет влияния на состояние компонентов экосистемы ЩБКЗ (табл. 2).

Таблица 2

Прогнозное изменение температуры воздуха в результате колебания климата и изменения климата, а также индекс изменения температуры ( $I_T$ ) на период с 1914 по 2033 гг.

Период	Диапазон колебания температуры, (в скобках за период 1935...2013 гг.), °С	Изменение температуры, °С	$I_T$ , %
Год	0,8 (0,9)	0,5	56
Теплый	0,6 (0,7)	0,5	71
Холодный	2,0 (1,9)	0,3	15

Таким образом, можно заключить, что прогнозируемое до 2033 года изменение температурного режима в районе ЩБКЗ окажет слабое влияние на компоненты экосистемы за счет изменения температуры воздуха теплого периода года.

**Гармонический анализ многолетнего ряда осадков.** Для подробного анализа были рассмотрены отдельно (1935...2013 гг.) ряды сумм осадков за год, за теплый период (апрель – октябрь) и за холодный период (ноябрь – март) на М Щучинск.

Ряды сумм осадков за год, за теплый период года и за холодный период года были преобразованы в тригонометрический ряд Фурье и построены соответствующие графики. На рис. 7 представлены годовые суммы осадков, а на рис. 8 представлены кривые колебания сумм осадков за год, за теплый и холодный периоды в виде их отклонений от средних многолетних значений.

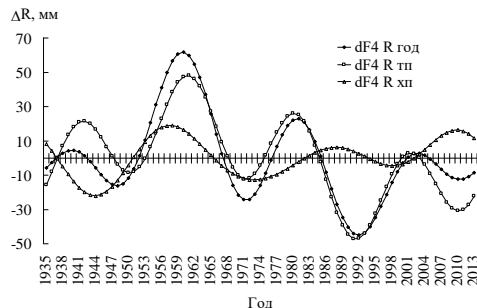
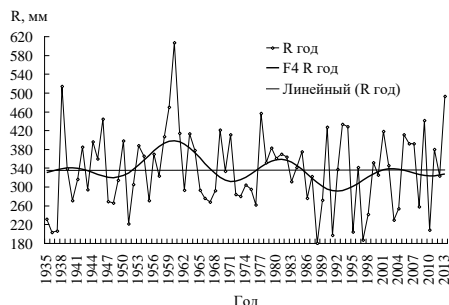


Рис. 7. Многолетняя динамика годовых сумм осадков ( $R_{год}$ ) и ее преобразованных значений в ряды Фурье четвертой гармоники ( $F4 R_{год}$ ).

Рис. 8. Тригонометрический ряд Фурье четвертой гармоники отклонений от среднемноголетних значений сумм осадков за год ( $dF4R_{год}$ ), за теплый период ( $dF4R_{тп}$ ) и за холодный период ( $dF4R_{хп}$ ).

В результате анализа цикличности колебаний сумм осадков за разные сезоны и за год были установлены следующие особенности:

1. в целом за рассматриваемый 79 летний период ряд годовых сумм осадков не имеет тенденции к изменению, ряд суммы осадков за теплый период имеет тенденцию понижения, а за холодный период – тенденцию роста;
2. колебания годовых сумм осадков имеют 19...23-летние периоды (циклы). Максимумы наблюдаются в 1940, 1960, 1981, 2002 гг., минимумы – в 1948, 1971, 1992, 2011 гг. За многолетний период имеет место постепенное уменьшение амплитуды колебаний. Сильное уменьшение амплитуды колебаний указывает на нарушение цикличности колебания годовых сумм осадков из-за усиления их межгодовой изменчивости, т.е. усиление неустойчивости погодного режима;
3. колебания сумм осадков за теплый период года имеют 19...21-летние периоды. Максимумы наблюдались в 1942, 1961, 1980, 2001 гг., минимумы – в 1950, 1971, 1991, 2010 гг. Амплитуда колебаний во второй половине многолетнего периода незначительно сократилась;

4. колебания сумм осадков за холодный период года имеют 19...24-летние периоды. Максимумы наблюдались в 1935, 1958, 1988, 2010 гг., минимумы – в 1944, 1974, 1998 гг. Амплитуда колебаний с годами уменьшается.

Ряд годовых сумм осадков ( $R_{\text{год}}$ ) за 79 лет не имеет тренда, ряд суммы осадков за теплый период ( $R_{\text{тп}}$ ) имеет тренд к снижению на 20 мм, а суммы осадков за холодный период ( $R_{\text{хп}}$ ) к росту на 21 мм.

Расчеты показали, что за истекший 79 лет (1935...2013 гг.) в районе М Щучинск изменение годовой суммы осадков в результате колебания климата составляет 82 мм, а в результате изменения климата – 1 мм. Индекс изменения годовой суммы осадков составляет 1 %, и можно было бы сказать, что изменение осадков за последние 79 лет в районе Щучинска вообще не оказывало влияния на состояние экосистемы ЩБКЗ (табл. 3). Однако необходимо учитывать сокращение осадков в теплый период и увеличение в холодный период года. Это обстоятельство доказывает необходимость исследования количества осадков раздельно по сезонам, т.е. исследование только ряда годовых сумм осадков не позволяет полноценно оценить степень произошедших изменений в режиме осадков.

Соответственно были оценены произошедшие изменения в режиме осадков за теплый и холодный периоды года. Расчеты показали, что за истекшие 79 лет в районе М Щучинск изменение сумм осадков за теплый период в результате колебания климата составило 67 мм, а в результате изменения климата – 20 мм. Тогда индекс изменения осадков ( $I_R$ ) теплого периода составляет 30 %, т.е. не оказало влияния на экосистему ЩБКЗ (табл. 3).

Изменение суммы осадков за холодный период года в результате колебания климата составляет 38 мм, а в результате изменения климата – 21 мм, т.е. индекс изменения осадков холодного периода составляет 55 %, что оценивается как оказание слабого влияния на экосистему (табл. 3).

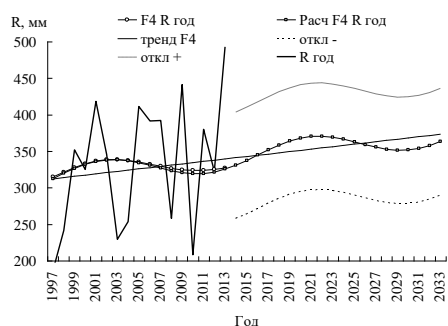
Таблица 3

Изменение режима осадков в результате колебания климата и изменения климата, а также индекс изменения осадков ( $I_R$ ) за период с 1935 по 2013 гг.

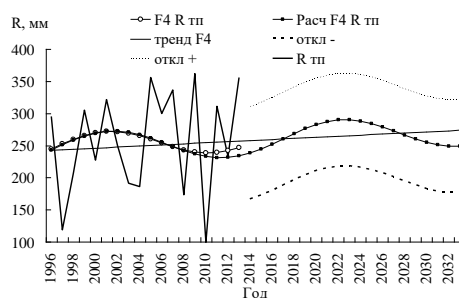
Период	Амплитуда колебания осадков, мм	Изменение осадков, мм	$I_R$ , %
Год	82	1	1
Теплый	67	20	30
Холодный	38	21	55

Таким образом, за период с 1935 по 2013 год в районе ЩБКЗ имело место смещение осадков в сторону холодного периода, и оно оказало определенное влияние на состояние компонентов экосистемы. Если рассмотреть изменение режима осадков в комплексе с изменением режима температуры воздуха, то можно говорить о значимом влиянии их изменений на состояние компонентов экологической системы ЩБКЗ.

**Прогноз колебания и изменения осадков до 2030 года.** На основе многолетней цикличности колебаний годовых сумм осадков было смоделировано их изменение на ближайшее 20 лет (рис. 9). Расчеты показали, что количество годовых осадков на М Щучинск с 2014 до 2021 года будет повышаться, а далее войдет в фазу снижения, достигая минимума к 2030 году. В целом за период 2014...2033 гг. будет иметь место тенденция роста годовых сумм осадков.



*Рис. 9. Фактические (F4Rгод) и смоделированные (РасчF4Rгод) значения колебаний годовых сумм осадков (R год) с 1997 по 2033 год.*



*Рис. 10. Характеристики фактического (F4Rтп) и смоделированного (РасчF4Rтп) колебания сумм осадков за теплый период года (Rтп) с 1996 по 2033 год.*

Также были проведены расчеты по осадкам за теплый (рис. 10) и за холодный периоды года. Ожидается, что сумма осадков за теплый период года на М Щучинск также будет иметь тенденцию роста, колебаясь вокруг линии тренд: повышаясь до 2022 года с последующим понижением к 2033 году. Сумма осадков за холодный период года также будет колебаться относительно повышающейся линии тренды, но с более низким наклоном. Количество осадков достигнет минимума к 2019 году, с последующим повышением до 2030 года.

Проведенные расчеты показали, что до 2033 г. в районе Щучинска изменение годовых сумм осадков составит в результате колебания климата 40 мм, а в результате изменения климата – 30 мм. С учетом колебаний осад-

ков в период 1935...2013 гг. индекс изменения равняется 37 %, что указывает на отсутствие влияния на состояние экосистемы (табл. 4).

Изменение осадков теплого периода года в результате колебания климата на период до 2033 г. составит 41 мм, а в результате изменения климата – 18 мм. Тогда «индекс изменения», с учетом 1935...2013 гг., составляет 28 % и это означает, что изменение осадков теплого периода не окажет влияния на состояние экосистемы (табл. 4).

Предполагается, что изменение осадков холодного периода года в результате колебания климата на период до 2033 г. составит 23 мм, а в результате изменения климата – 7 мм. Индекс изменения, с учетом колебания в 1935...2013 гг. составит 18 %, т.е. изменение осадков холодного периода также не окажет влияния на экосистему ЩБКЗ (табл. 4).

Таким образом, можно заключить, что ожидаемое до 2033 года изменение режима осадков не окажет влияния на состояние экосистемы ЩБКЗ. Если рассмотреть изменение режима осадков в комплексе с изменением режима температуры воздуха, то можно предположить слабое влияние их изменений на состояние компонентов экосистемы ЩБКЗ.

Таблица 4

Прогнозное изменение режима осадков в результате колебания климата и изменения климата, а также индекс изменения осадков ( $I_R$ ) за период 1914...2033 гг.

Период	Диапазон осадков (в скобках за период 1935...2013 гг.), мм	Изменение осадков, мм	$I_R$ , %
Год	40 (82)	30	37
Теплый	41 (67)	18	28
Холодный	23 (38)	7	18

В заключение можно сказать, что произошедшие за последние 79 лет изменения режима температуры и осадков предполагает сильное влияние на состояние компонентов экосистемы ЩБКЗ, а их ожидаемые изменения до 2030 года окажут слабое влияние. Также для прогноза развития метеорологического режима на многолетний период наравне с другими методами можно использовать предложенный выше подход моделирования режима метеоэлемента на основе его многолетней цикличности колебаний, структурно состоящий из трех частей:

1. моделирование цикличности колебания метеоэлемента с преобразованием в тригонометрический ряд Фурье, предполагающее гармонический анализ многолетнего ряда метеоэлемента;

2. прогнозное моделирование колебания метеоэлемента на основе его многолетней цикличности, предполагающее продолжение колебательного процесса на основе установленных закономерностей колебания и формулы синусоидального тока;
3. оценка влияния изменения метеоэлемента на состояние экологической системы, включая качественную оценку влияния на окружающую экологическую среду изменения состояния метеоэлемента в результате изменения климата.

Относительно слабым моментом данного подхода является возможность изменения тенденции характеристик тренда в ходе метеоэлемента – оси синусоидального колебания, а так же изменение периода и амплитуды колебания. Поэтому определение линии тренда является очень важным. При прогнозировании режима метеоэлемента только на один колебательный период вероятность данной погрешности сводится к минимуму. Поэтому рекомендуется проводить прогнозное моделирование состояния метеоэлемента только на многолетний период, равный одному периоду его колебания. Надо отметить, что согласно исследованиям как казахстанских, так и зарубежных климатологов, современный тренд роста температуры воздуха сохранится и во второй половине 21 века [1].

Полученные прогнозные на 2014...2030 гг. значения температуры воздуха и сумм осадков в виде преобразования Фурье можно использовать для прогноза состояния отдельных компонентов экологической системы. Например, для прогноза динамики уровня (объема) озер ЩБКЗ до 2030 года.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. III-VI Национальное Сообщение Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Астана. ТОО «Типография Форма Плюс», 2013. – 274 с.
2. Байшоланов С.С. Об изменении климата в Щучинско-Боровской курортной зоне // Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы географии». Часть II. – Астана, 2014. – С. 192-198.
3. Гармоническое колебание. [Электрон. ресурс]. – 2012. – URL: [http://fizmat.by/kursy/kolebaniya\\_volny/garmonicheskoe](http://fizmat.by/kursy/kolebaniya_volny/garmonicheskoe) (дата обращения: 12.05.2014).
4. Климатология / Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.

5. Кривенко В.Г. Прогноз изменения климата Евразии с позиций концепции его циклической динамики // Всемирная конференция по изменению климата: тезисы докладов. – М.: 2003. – 514 с.
6. Методы гармонического анализа сезонности. [Электрон. ресурс]. – 2013. – URL: [http://mobile.studme.org/150609139282/ekonomika/metody\\_garmonicheskogo\\_analiza\\_sezonnosti](http://mobile.studme.org/150609139282/ekonomika/metody_garmonicheskogo_analiza_sezonnosti) (дата обращения: 12.05.2014).
7. Проведение научного исследования по комплексному решению вопроса повышения объема (уровня) и качества воды озер Щучинско-Боровской курортной зоны. // Отчет НТР, МОСВР РК, РГП «Казгидромет». – Астана, 2013. – 448 с.
8. Синусоидальный ток. [Электрон. ресурс]. – 2011. – URL: <http://electrophysic.ru/elektricheskiy-tok/sinusoidalnyiy-tok.-opredelenie-parametryi.html> (дата обращения: 12.05.2014).
9. Экономико-математические методы и прикладные модели / Под ред. В.В. Федосеева. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 328 с.

Поступила 17.07.2014

Геогр. ғылымд. канд. С.С. Байшоланов

**ЩУЧИНСК-БУРАБАЙ КУОРТЫ АЙМАҒЫНДА ТЕМПЕРАТУРА  
МЕН ЖАУЫН-ШАШЫН РЕЖИМІН ОЛАРДЫҢ ТЕРБЕЛУ  
ЦИКЛДЕРІ НЕГІЗІНДЕ МОДЕЛДЕУ**

*Температура және жауын-шашын қатарларына гармоникалық талдау жүргізілген, олардың болжамдық тербелістері моделденген, сонымен қатар олардың өзгеруінің экологиялық жүйенің басқа компоненттеріне әсері бағаланған.*