
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО ИНДЕКСА Hf, БЛАГОПРИЯТНОСТИ КЛИМАТА CL И ИНДЕКСА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЭКОСИСТЕМ ПРИКАСПИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

В.А. Гутников, А.В. Когаева

Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Проведен анализ данных гидротермического индекса Hf, индекса благоприятности климата CL, индекса потенциальной продуктивности растительности метеостанций Прикаспийской низменности за период 1961—2010 гг.

Ключевые слова: гидротермический индекс Hf, индекс благоприятности климата CL, индекс потенциальной продуктивности растительности, экосистемы.

Для исследования динамики и мониторинга устойчивости экосистем, динамики продуктивности растительности предлагается использовать следующие показатели: гидротермический индекс Hf, предложенные В.Р. Волобуевым [1], индекс благоприятности климата CL по Пегову, Хомякову (1991) [5], индекс потенциальной продуктивности растительности [2].

Показатель эффективного увлажнения по Волобуеву (1963) рассчитывался по формуле

$$Hf = 43,2 \cdot \lg R - T, \quad (1)$$

где R — среднее годовое количество осадков (мм); T — среднегодовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$).

Индекс биопродуктивной благоприятности климата CL рассчитывался по следующей формуле:

$$CL = \arctg (Hf - 113)/4 + 1,57 \arctg (T - 6 + 1,57), \quad (2)$$

где T — среднегодовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); Hf — показатель эффективного увлажнения.

Индекс потенциальной продуктивности растительности рассчитывался по формуле

$$\text{ИППР} = 0,0190389794069236 \cdot R + 0,00107764030702742 \cdot T, \quad (3)$$

где R — среднее годовое количество осадков (мм); T — среднегодовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$).

Климатические и экологические показатели имеют высокие коэффициенты корреляции с физико-географическими характеристиками экосистем: широтой

местности (φ), долготой (λ) и абсолютной высотой (h, m). На основе их анализа ранее получены уравнения связи между данными показателями [4].

На основе многолетних наблюдений метеостанций Прикаспийской низменности проведен анализ гидротермического индекса Нf, индекса благоприятности климата CL, индекса продуктивности растительности экосистем за период 1966—2010 гг.

Сведения о среднегодовой температуре воздуха и годовых осадков Прикаспийской низменности взяты из климатических справочников.

Динамика изменения климатических показателей и индексов определялась линией тренда, величиной достоверности аппроксимации коэффициента детерминации и рассчитывался темп прироста индексов.

Расчет динамики гидротермического индекса Нf экосистем Прикаспийской низменности выявил максимальный темп прироста на метеостанции Цимлянск 0,20 °С/100 и минимальный на станции Лагань и Элиста — 0,03 °С/100 (табл. 1).

Таблица 1

Динамика гидротермического индекса Нf экосистем Прикаспийской низменности

Метеостанция	Статистические показатели				Тренд Уравнение связи	R ²	Темп прироста °С/100
	Среднее	Max	Min	Cv			
Цимлянск	105,026	112,739	95,462	0,039	$y = 0,0198x + 65,571$	0,004	0,20
В. Баскунчак	96,171	104,307	86,092	0,048	$y = 0,0349x + 26,725$	0,01	0,16
Гигант	107,127	113,771	95,593	0,034	$y = 0,0279x + 51,643$	0,009	0,12
Ремонтное	103,063	112,220	91,219	0,041	$y = 0,019x + 65,329$	0,003	0,07
Яшкуль	93,908	101,277	83,854	0,047	$y = 0,0818x - 68,66$	0,05	0,06
Дербент	98,587	105,413	89,126	0,043	$y = 0,003x + 92,59$	9E-05	0,03
Махачкала	97,764	106,058	89,454	0,042	$y = 0,1021x - 105,07$	0,09	0,01
Астрахань	90,736	100,696	79,156	0,058	$y = 0,073x - 54,398$	0,03	-0,12
Лагань	89,470	100,148	76,456	0,056	$y = 0,148x - 204,7$	0,15	-0,03
Элиста	100,570	106,078	93,553	0,035	$y = 0,0796x - 57,58$	0,08	-0,03

Max — максимум, Min — минимум, Cv — коэффициент вариации, R² — коэффициент детерминации.

Расчет динамики индекса благоприятности климата CL экосистем Прикаспийской низменности выявил наибольший темп прироста на метеостанции Цимлянск 1,05 °С/100 и минимальное значение на метеостанции Астрахань — 0,24 °С/100 (табл. 2).

Изменение уровня Каспийского моря на протяжении тысячелетий оказывает значительное влияние на экосистемы Прикаспия, тип и динамику растительности.

Расчет динамики индекса потенциальной продуктивности растительности экосистем показал максимальный темп прироста на станции Цимлянск 0,88 °С/100. Минимальное значение на станции Элиста — 0,04 °С/100 (табл. 3).

Таблица 2

Динамика индекса благоприятности климата CL экосистем Прикаспийской низменности

Метеостанция	Статистические показатели				Тренд	R ²	Темп прироста °C/100
	Среднее	Max	Min	Cv	Уравнение связи		
Цимлянск	1,158	1,726	0,762	0,211	$y = 0,0016x - 1,9843$	0,007	1,05
Гигант	1,338	2,024	0,798	0,226	$y = 0,0024x - 3,5225$	0,01	0,63
В. Баскунчак	0,778	0,997	0,614	0,133	$y = 0,0019x - 2,9549$	0,05	0,39
Ремонтное	1,050	1,862	0,709	0,214	$y = 0,0008x - 0,5942$	0,002	0,36
Яшкуль	0,760	0,946	0,605	0,112	$y = 0,0021x - 3,3794$	0,10	0,17
Дербент	0,902	1,174	0,689	0,134	$y = -3E-05x + 0,9579$	9E-06	0,11
Махачкала	0,873	1,218	0,692	0,140	$y = 0,0032x - 5,3879$	0,08	0,03
Лагань	0,689	0,905	0,537	0,114	$y = 0,0025x - 4,3722$	0,18	-0,05
Элиста	0,922	1,170	0,727	0,134	$y = 0,0035x - 6,0312$	0,13	-0,14
Астрахань	0,702	0,909	0,558	0,112	$y = 0,0013x - 1,8916$	0,04	-0,24

Max — максимум, Min — минимум, Cv — коэффициент вариации, R² — коэффициент детерминации.

Таблица 3

Динамика индекса потенциальной продуктивности растительности экосистем Прикаспийской низменности

Метеостанция	Статистические показатели				Тренд	R ²	Темп прироста °C/100
	Среднее	Max	Min	Cv	Уравнение связи		
Цимлянск	0,667	0,842	0,464	0,132	$y = 0,002x - 3,3598$	0,09	0,88
В. Баскунчак	0,470	0,623	0,338	0,163	$y = 0,0019x - 3,3974$	0,11	0,63
Гигант	0,756	0,942	0,572	0,115	$y = 0,0023x - 3,7219$	0,11	0,49
Ремонтное	0,627	0,849	0,465	0,147	$y = 0,0017x - 2,7781$	0,05	0,37
Яшкуль	0,068	0,631	0,357	0,140	$y = 0,0024x - 4,327$	0,21	0,31
Дербент	0,671	0,821	0,504	0,134	$y = 0,0014x - 2,1014$	0,04	0,16
Лагань	0,440	0,591	0,295	0,160	$y = 0,0029x - 5,3033$	0,29	0,04
Махачкала	0,620	0,834	0,487	0,137	$y = 0,0026x - 4,6286$	0,13	0,01
Астрахань	0,439	0,569	0,305	0,146	$y = 0,0018x - 3,1442$	0,13	0,16
Элиста	0,574	0,724	0,433	0,137	$y = 0,003x - 5,4031$	0,25	0,04

Max — максимум, Min — минимум, Cv — коэффициент вариации, R² — коэффициент детерминации.

Для оценки климатической модели сделан анализ связи между коэффициентом корреляции гидротермического индекса Hf, индекса благоприятности климата CL, индекса потенциальной продуктивности растительности экосистем и расстоянием между станциями за период 1966—2010 гг. (рис. 1—3, табл. 4).

Наблюдается тесная связь пространственной корреляционной функцией изменений гидротермического индекса Hf (рис. 1), индекса благоприятности климата CL (рис. 2), индекса потенциальной продуктивности растительности (рис. 3) и удаленностью от Каспийского моря.

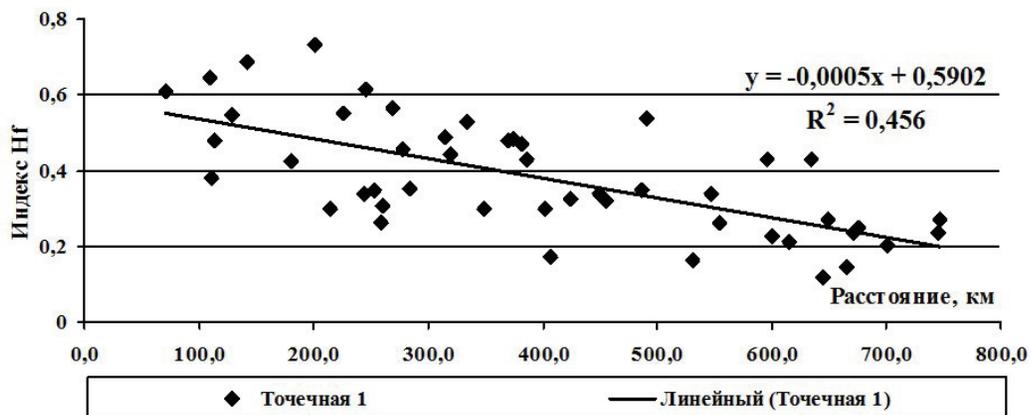


Рис. 1. Пространственная корреляционная функция изменений гидротермического индекса Нф

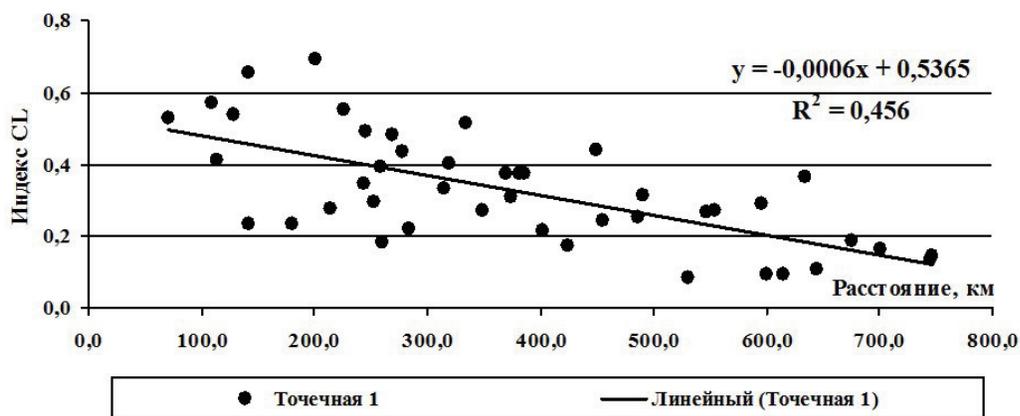


Рис. 2. Пространственная корреляционная функция изменений индекса благоприятности климата СЛ

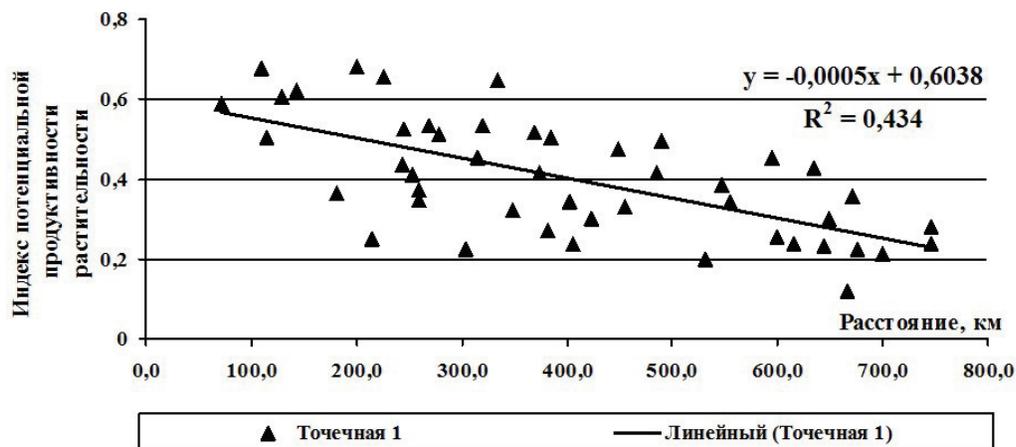


Рис. 3. Пространственная корреляционная функция изменений индекса потенциальной продуктивности растительности

Таблица 4

Уравнения связи пространственной корреляционной функции изменений индексов и расстояний между станциями

Индекс	Пространственная корреляционная функция изменений индексов	R^2
Индекс Hf	$y = -0,0005x + 0,5902$	0,456
Индекс CL	$y = -0,0006x + 0,5365$	0,456
Индекс потенциальной продуктивности растительности	$y = -0,0005x + 0,6038$	0,434

R^2 — коэффициент детерминации.

Динамика коэффициента вариации C_v среднегодовой температуры воздуха исследуемых метеостанций Прикаспийской низменности за период 1961—2012 гг. представлена на рис. 4.

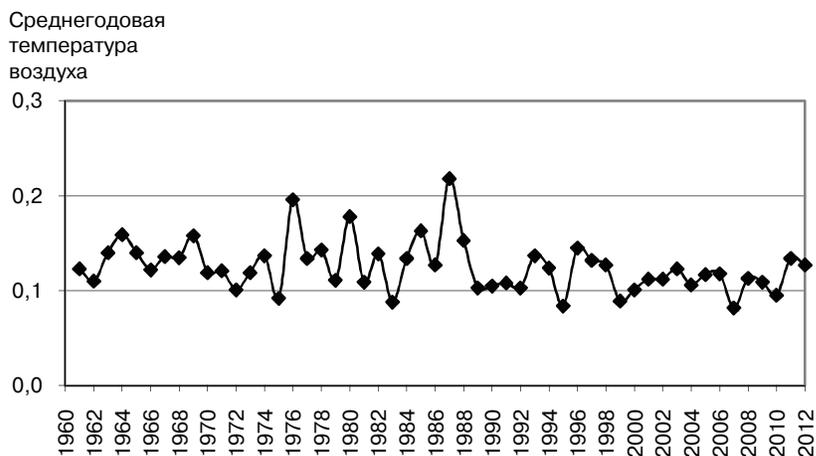


Рис. 4. Динамика коэффициента вариации C_v среднегодовой температуры воздуха метеостанций Прикаспийской низменности

Динамика среднегодовых температур атмосферного воздуха Прикаспийской низменности за период 1959—2012 гг. исследования показывает более устойчивый рост и линейный тренд. Коэффициент детерминации линейного тренда составляет для станции Лагань $R^2 = 0,279$ (рис. 5). Динамика атмосферных осадков имеет высокую цикличность, которая определяется атмосферной циркуляцией и колебаниями уровня Каспийского моря. Коэффициент детерминации линейного тренда атмосферных осадков составляет $R^2 = 0,284$ (рис. 6). Динамика индекса аридности по метеостанции Лагань имеет положительный линейный тренд, где коэффициент детерминации линейного тренда составляет $R^2 = 0,295$ (рис. 7).

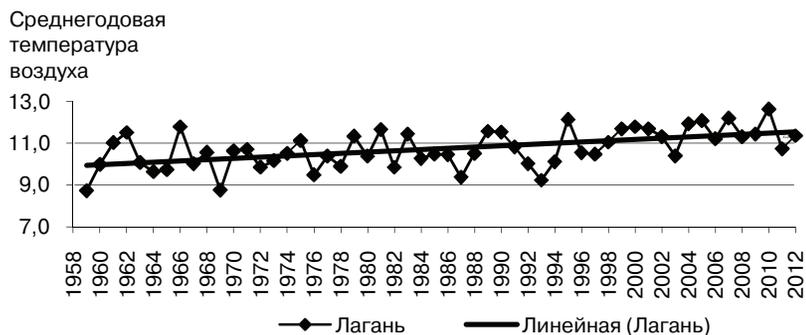


Рис. 5. Динамика среднегодовой температуры атмосферного воздуха метеостанции Лагань

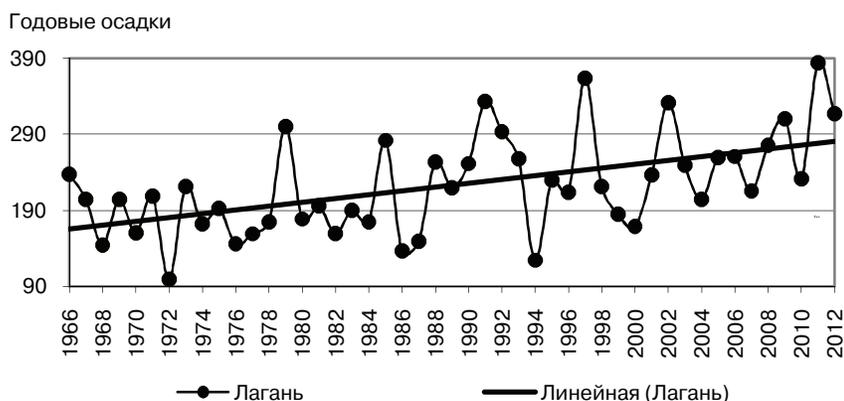


Рис. 6. Динамика годовых осадков метеостанции Лагань

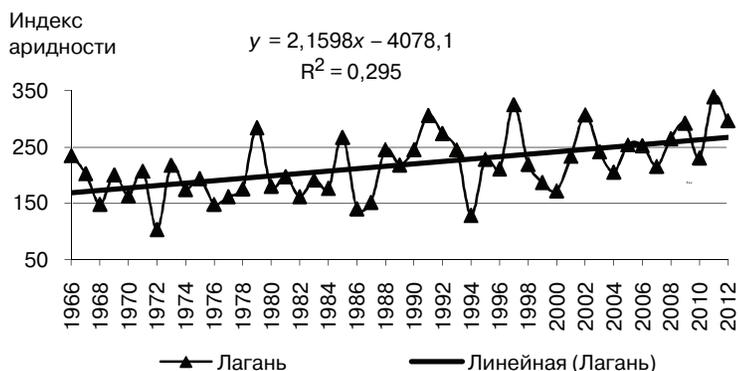


Рис. 7. Динамика индекса аридности метеостанции Лагань

Максимальный линейный тренд гидротермического индекса Нf наблюдается на станции Цимлянск $0,20 \text{ } ^\circ\text{C}/100$ и минимальный на станции Лагань $-0,03 \text{ } ^\circ\text{C}/100$ и Элиста $-0,03 \text{ } ^\circ\text{C}/100$. Данные различия обусловлены разным приходом солнечной радиации, на которую влияют особенности рельефа и отдаленность от Каспийского моря.

Устойчивый рост показателей индекса благоприятности климата CL за исследуемый период исследований приводит к увеличению амплитуды между данными показателями. Темп прироста индекса благоприятности климата CL экосистем Прикаспийской низменности имеет максимальное значение для метеостанции Цимлянск 1,05 °C/100 и минимальное значение для метеостанции Астрахань –0,24 °C/100.

Индекс потенциальной продуктивности растительности региона имеет устойчивую динамику линейного роста за период исследования 1961—2010 гг. Максимальное значение темпа прироста наблюдается на станции Цимлянск 0,88 °C/100, а минимальное — на станции Элиста –0,04 °C/100. Связь между коэффициентом корреляции продуктивности растительности и расстоянием между станциями увеличивается, что говорит об общем циркуляционном и термическом режиме исследуемой территории.

Межгодовые изменения климатических и экологических показателей имеют высокую цикличность, которую необходимо учитывать при проведении моделирования природных процессов и явлений экосистем. Для проведения мониторинга и прогноза состояния экосистем с целью учета влияния климатических флуктуаций необходима оценка климатических параметров в сравнении с климатической нормой за период климатических наблюдений не менее 30 лет.

Сопряженный анализ динамики гидротермического индекса Hf, индекс благоприятности климата CL и индекса потенциальной продуктивности растительности, позволяет прогнозировать тенденции состояния и условия формирования биоразнообразия флоры и фауны экосистем Прикаспийской низменности.

Анализ динамики среднегодовой температуры воздуха, годовых осадков и индекса аридности метеостанции Лагань выявил максимальный коэффициент детерминации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Волобуев В.Р.* Экология почв. — Баку: Изд-во АН АзССР, 1963.
- [2] *Гутников В.А.* Экспертиза экологического потенциала и стратегии ландшафтного развития региона // Градостроительство. — М., 2013. — N 1. — С. 15—24.
- [3] *Гутников В.А., Когаева А.В.* Влияние периода климатической нормы на индекс аридности экосистем Прикаспийского региона // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Н.А. Черных. — Вып. 15. — М.: РУДН, 2013. — С. 290—294.
- [4] *Гутников В.А., Когаева А.В.* Экологический потенциал экосистем республики Калмыкия // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. труд. — Вып. 14. — М.: РУДН, 2012. — Ч. 2. — С. 507—514.
- [5] *Пегов С.А., Хомяков П.М.* Моделирование и развитие экологических систем. — М., 1991.

LITERATURA

- [1] *Volobuev V.R.* E'kologiya pochv. — Baku.: Izd-vo AN AzSSR, 1963.
- [2] *Gutnikov V.A.* E'kspertiza e'kologicheskogo potenciala i strategii landshaftnogo razvitiya regiona // Gradstroitel'stvo. — M., 2013. — N 1. — S. 15—24.

- [3] *Gutnikov V.A., Kogaeva A.V. Vliyanie perioda klimaticheskoy normy na indeks aridnosti e'kosistem Prikaspijskogo regiona // Aktual'nye problemy e'kologii i prirodopol'zovaniya: Sb. nauch. tr. / Otv. red. N.A. Chernyx. — Vyp. 15. — M.: RUDN, 2013. — S. 290—294.*
- [4] *Gutnikov V.A., Kogaeva A.V. E'kologicheskij potencial e'kosistem respubliki Kalmykiya // Aktual'nye problemy e'kologii i prirodopol'zovaniya. Sb. nauch. trud. — Vyp. 14. — M.: RUDN, 2012. — Ch. 2. — S. 507—514.*
- [5] *Pegov S.A., Xomyakov P.M. Modelirovanie i razvitie e'kologicheskix sistem. — M., 1991.*

MODELING THE DYNAMIC OF THE HYDROTHERMAL INDEX HF, FAVORABLE CLIMATE CL AND INDEX OF POTENTIAL PRODUCTIVITY OF PLANT ECOSYSTEMS CASPIAN DEPRESSION

V.A. Gutnikov, A.V. Kogaeva

Department of Environment
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

The analysis of weather data for the period of the Caspian lowlands 1961—2010 years, index changes Hf and CL, vegetation productivity.

Key words: the hydrothermal index Hf, favorable climate index CL, the index of potential productivity of vegetation, ecosystems.