

Е. П. Каюкова

МЕЗОКЛИМАТ ПОЛИГОНА КРЫМСКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

В Горном Крыму в пределах Второй (Внутренней) гряды Крымских гор, между населенными пунктами пос. Скалистое и пос. Прохладное восточной части Бахчисарайского района Крыма, существует уникальный геологический полигон, на котором уже десятки лет многие ВУЗы России, Украины и ближнего зарубежья проводят учебные геологические практики для студентов.

В настоящей статье обобщены данные по климату Крыма за последние 100 лет и рассмотрены современные тенденции его изменения.

Климат Крымского полуострова формируется под влиянием акваторий Черного и Азовского морей, солнечной радиации, антициклональных циркуляционных процессов на юге Русской равнины и циклонов северо-восточной части Средиземноморья, при определяющей барьерной роли Главной гряды Крымских гор. В Предгорьях добавляются местные особенности подстилающей поверхности, такие как рельеф, растительный покров, наличие рек, прорезающих Внутреннюю и Внешнюю гряды, и некоторые другие факторы, формирующие местный климат.

Полигон СПбГУ находится в районе умеренно-континентального климата в биоклиматической зоне низкогорной лесостепи. Погодно-климатические условия отличаются межгодовой и внутригодовой изменчивостью. Температура воздуха, как одна из ведущих метеорологических величин, формирует климат, основные черты и режим погоды. Для района исследования характерен температурный контраст дня и ночи, как в зимний, так и в летний период. Среднегодовые температуры за период с 1998 г. по настоящее время колеблются около $11,6^{\circ}\text{C}$ (от $10,5^{\circ}$ до $12,4^{\circ}$), средние месячные температуры самого жаркого месяца июля — $22,8^{\circ}\text{C}$ (от $20,6^{\circ}$ до $25,4^{\circ}$), самого холодного месяца января $-2,1^{\circ}\text{C}$ (от $-1,4^{\circ}$ до $5,1^{\circ}\text{C}$) (рис. 1, табл. 1, 2). В период с 1929 г. по 1969 г. среднегодовая температура составила $10,3^{\circ}\text{C}$. Все среднемесячные температуры также были ниже, чем в современный период (в июле $21,1^{\circ}\text{C}$, в январе и феврале $0,3^{\circ}\text{C}$) [1]. Современное потепление климата, которое за последнее столетие (согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК [2]) характеризуется повышением глобальной температуры воздуха на $0,74 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, привело к изменениям температуры воздуха и здесь в Предгорьях Крыма. За исследуемый период (1998–2009 гг.) среднемесячная температура в районе практики медленно возросла (наклон линии тренда с небольшим, но положительным угловым коэффициентом).

Тренд годовых температур за период 1998–2008 гг. описывается уравнением $T(^{\circ}\text{C}) = 0,0367x + 11,348$, где x — номер года наблюдения, $T(^{\circ}\text{C})$ — среднегодовая температура воздуха. Данное уравнение можно использовать для прогноза температуры воздуха (коэффициент вариации меньше 5%). Годовые амплитуды температур воздуха менялись от $19,5^{\circ}$ до $27,2^{\circ}\text{C}$. Средняя минимальная среднемесячная температура воздуха составила $+0,5^{\circ}\text{C}$, с наименьшим минимальным значением $-2,4^{\circ}\text{C}$ в декабре 2002 г. Средняя максимальная среднемесячная температура воздуха составила $23,3^{\circ}\text{C}$.

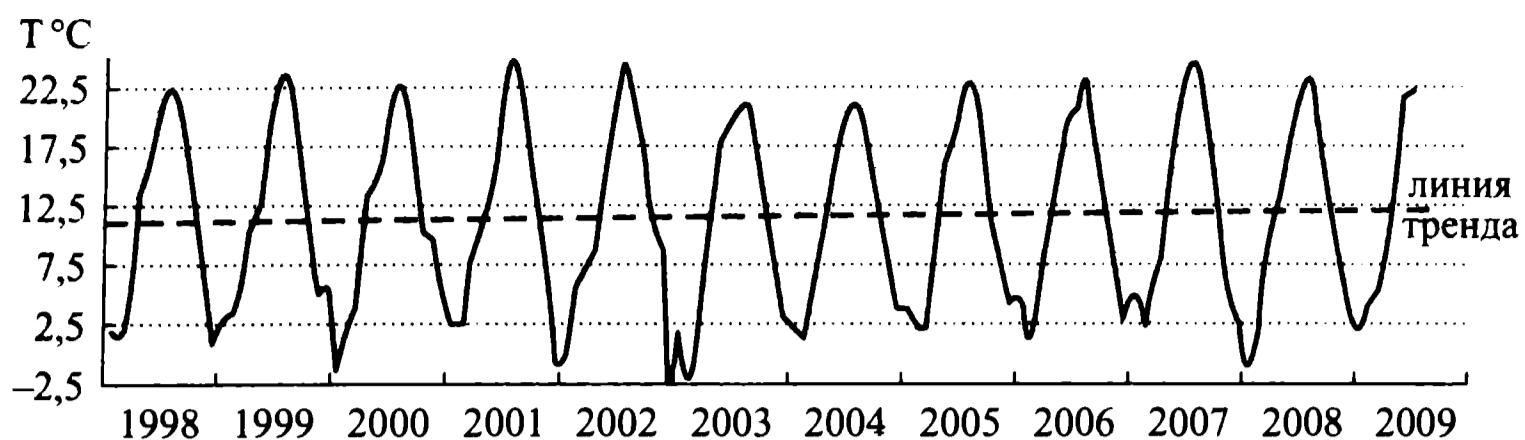


Рис. 1. Ход среднемесячных температур воздуха (1998–2009 гг.).

Таблица 1. Статистические характеристики межгодовой изменчивости температуры воздуха за период с 1998 г. по 2009 г. (°C)

T °C	среднее	медиана	минимум	год минимума	максимум	год максимума	дисперсия	стандартное отклонение	коэфф. вариации, %
январь	2,1	2,3	-1,4	2000	5,1	2006	4,6	2,1	101,9
февраль	2,2	2,3	-2,1	2003	5,8	2002	3,7	1,9	87,1
март	5,5	6,2	1,3	2003	8,3	2008	4,9	2,2	40,0
апрель	10,6	10,5	8,0	2003	13,3	2000	3,1	1,8	16,7
май	15,2	15,0	12,9	1999	17,7	2003	1,9	1,4	9,1
июнь	19,7	19,9	18,2	2004	21,8	2007	1,6	1,3	6,5
июль	22,8	22,7	20,6	2006	25,4	2001	2,5	1,6	6,9
август	22,3	22,0	20,6	2002	24,7	2007	1,8	1,3	6,0
сентябрь	17,2	17,4	15,9	2003	18,8	2005	0,6	0,8	4,6
октябрь	12,0	11,9	10,6	2000	14,7	2009	1,5	1,2	10,2
ноябрь	7,1	7,1	5,0	1999	9,7	2000	2,0	1,4	20,0
декабрь	3,0	3,5	-2,4	2002	6,0	1999	6,6	2,6	87,2
год	11,6	11,6	10,5	2003	12,4	2007	0,3	0,5	4,4

Таблица 2. Статистические характеристики внутригодовой изменчивости температуры воздуха за период с 1998 г. по 2009 г. (°C)

T °C	среднее	медиана	минимум	месяц минимума	максимум	месяц максимума	дисперсия	стандартное отклонение	коэфф. вариации, %
1998	11,4	12,9	0,9	декабрь	22,5	июль	68,2	8,3	72,5
1999	12,0	11,3	3,1	январь	23,8	июль	54,7	7,4	61,8
2000	11,5	12,0	-1,4	январь	22,9	июль	62,1	7,9	68,3
2001	11,6	10,7	-0,9	декабрь	25,4	июль	70,8	8,4	72,7
2002	11,5	10,4	-2,4	декабрь	24,8	июль	71,4	8,4	73,4
2003	10,5	9,9	-2,1	февраль	21,4	август	69,3	8,3	79,6
2004	11,2	11,1	1,5	февраль	21,0	июль	50,1	7,1	63,0
2005	11,7	10,6	2,3	февраль	23,2	август	60,6	7,8	66,6
2006	11,7	11,4	1,3	февраль	23,4	август	55,0	7,4	63,4
2007	12,4	10,8	2,3	февраль	24,7	август	71,2	8,4	68,1
2008	11,8	12,3	-1,0	январь	23,3	август	64,0	8,0	68,0
2009	12,3	12,2	1,9	январь	23,1	июль	55,1	7,4	60,2

с максимальным значением $25,4^{\circ}\text{C}$ в июле 2001 г. (см. табл. 2). С 1961 по 1990 г. средняя максимальная температура воздуха за июль составила $27,6^{\circ}\text{C}$ [3].

Повторяемость абсолютного минимума температуры воздуха (по метеостанции пос. Почтовое): в феврале — $45,5\%$, в январе и декабре по $27,3\%$. Повторяемость абсолютного максимума температуры воздуха составляет в июле $54,5\%$, в августе — $45,5\%$. В период с 1900 г. по 1977 г. наибольшая повторяемость абсолютного минимума температуры воздуха в течение года приходилась на февраль и январь (по $36,4\%$), случались минимумы и в марте ($4,5\%$) [4]. Наибольшая повторяемость абсолютного максимума в тот период была в августе $52,3\%$, в июле $38,6\%$, случались максимумы в сентябре ($6,8\%$) и июне ($2,3\%$) [4].

Вся анализируемая информация, представленная в табл. 1 и 2, подчиняется закону нормального распределения, так как значения отношения показателя эксцесса к его ошибке и отношение показателя асимметрии к его ошибке меньше 3. Наиболее близкие значения месячных температур к среднегодовым температурам характерны для октября и апреля, наиболее близкие значения температур к среднеарифметическим — для февраля, октября и сентября (показатель эксцесса больше нуля). Наибольший размах температур — в декабре и феврале, наименьший — в сентябре. Коэффициенты вариации — менее 10% отмечены только в теплые месяцы (с мая по сентябрь), что соответствует небольшому разбросу исследуемых значений.

Изменчивость средних месячных значений температуры воздуха (стандартное отклонение) в теплую половину года составляет на изучаемой территории $1,3^{\circ}\text{C}$ – $2,2^{\circ}\text{C}$, в холодную — $0,8^{\circ}\text{C}$ – $2,6^{\circ}\text{C}$. За исследуемый период самым холодным оказался 2003 г. (см. табл. 1). Внутригодовая изменчивость температур меняется от $7,1^{\circ}\text{C}$ до $8,4^{\circ}\text{C}$ (см. табл. 2).

Анализ матрицы коэффициентов парной корреляции показывает, что среднегодовые температуры воздуха имеют тесную связь со среднемесячными температурами июня ($0,69$), февраля ($0,64$) и сентября ($0,55$). Проверка значимости коэффициентов корреляции проводилась по критерию Стьюдента $t_{\theta} = r \times \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$, где r — коэффициент корреляции, n — объем выборки. Проверка значимости осуществлялась путем сравнения табличных и расчетных значений величин t . При заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ (5%) и числе степеней свободы $\nu = n - 2$ коэффициенты корреляции июня, февраля и сентября существенно отличались от нуля.

На метеостанции пос. Почтовое метеорологические наблюдения ведутся с 1929 г. (исключая военное время). Сначала это были визуальные наблюдения, с 1955 г. добавляются инструментальные наблюдения. Метеорологическая станция (172 м над ур. моря) находится в 6 км от базы СПбГУ (270 м над ур. моря).

В районе Второй гряды метеорологические наблюдения проводятся с начала XIX в. (начаты в 1821 г. Ф. К. Мильгаузенем в г. Симферополе). Здесь же была основана первая в Крыму метеорологическая станция (181 м над ур. м.), находящаяся на расстоянии 20 км от базы СПбГУ. По наблюдениям на этой станции были построены графики векового хода средних температур воздуха, сумм атмосферных осадков, различные карты, определены нормы [3, 4, 5]. В прошлом веке преобладала тенденция медленного возрастания средней температуры воздуха. За 77 лет (с 1900 г.) средняя температура воздуха возросла на $0,2^{\circ}\text{C}$ [4]. В Пятом национальном сообщении Украины по вопросам изменения климата рассматриваются периоды 1961–1990 гг. и 1961–2005 гг. [3]. По этим данным там, где проходила изотерма — 1°C (январская норма 1961–1990 гг.) теперь находится изотерма 0°C (январская норма 1961–2005 гг.), т. е.

температура воздуха за период 1961–2005 гг. повысилась по сравнению с периодом 1961–1990 гг.

В июле среднемесячная температура воздуха повысилась на 1,0–1,5° С по всей территории Украины. На протяжении 2005–2008 гг. в большинстве месяцев средняя температура воздуха превышала норму. Существенные положительные отклонения отмечались в январе (до 3° С), в марте, июле, августе и декабре. Средняя годовая температура воздуха за этот период превысила норму на 1,5° С [3]. Самым теплым был 2007 г. В этот год в Предгорьях зафиксированы три максимума среднемесячных температур (июнь, август, октябрь) (см. табл. 1). В целом за последние 12 лет все среднемесячные температуры в исследуемом районе возросли (кроме декабря), но наибольший прирост (относительно периода 1930–1980 гг.) наблюдается в январе (в 3,5 раза) и феврале (в 1,5 раза).

Радиационный баланс Предгорьев Крыма положителен (месячная сумма поглощенной радиации всегда превышает месячную сумму эффективного излучения). По данным Л. С. Рибченко и Т. О. Ревера [5] существует тенденция к увеличению сумм прямой суммарной радиации и уменьшению рассеянной для средних условий облачности (по данным актинометрических станций в конце XX в. — начале XXI в.). По их мнению эти изменения обусловлены такими природными факторами, как прозрачность и циркуляция атмосферы (антропогенный фактор не выделен). В годовом ходе наибольший рост суммарной радиации наблюдается от зимы к весне. Минимальные суммы суммарной солнечной радиации характерны для декабря (50 МДж/м²), что составляет 5–7% годовой суммы. В составе суммарной радиации в этом месяце преобладает рассеянная радиация (60–70%). Максимум суммарной солнечной радиации приходится на июль — 14,5% годовых. За год суммарное значение солнечной радиации доходит до 5200 МДж/м² [3].

Альbedo характеризуется стабильностью в теплый период года и значительной изменчивостью в холодный. Зимой альbedo зависит от продолжительности залегания и устойчивости снежного покрова и изменяется в широких пределах от 7 до 90% [5]. В январе альbedo около 25%, в декабре в результате меньшей устойчивости снегового покрова — около 18–20%. В теплый период средние месячные значения альbedo — около 18%. Годовой ход притока суммарной солнечной радиации почти совпадает с годовым ходом температуры воздуха (рис. 2).

Суточный ход температуры воздуха определяется, главным образом, ходом радиационного баланса. Максимальные значения температуры воздуха в Предгорьях Крыма отмечаются в промежуток времени от 12 до 14 часов дня, минимум — перед восходом солнца [4]. В 2007 г. 21 июля на метеостанции пос. Почтовое в 15–00 был зафиксирован абсолютный максимум температур 38,8° С.

Максимальные среднемесячные амплитуды температур характерны для декабря (8,4° С) и февраля (7,9° С), минимальные — для сентября (2,9° С). Максимальные среднемесячные амплитуды атмосферных осадков соответствуют летним месяцам (в июле 197 мм, в августе 194 мм), минимальные — с февраля по апрель (от 56 мм до 52 мм) (рис. 3).

Лето в д. Трудолюбовке жаркое и продолжительное, зима, как правило, неустойчивая мягкая (довольно теплая), без выраженных периодов отрицательных температур. Зимние оттепели обычны, но их количество неодинаково в разные годы. 4 декабря 2008 г. зафиксирована дневная температура 22,3° С. Высокие положительные температуры в зимнее время отмечены также в 1935, 1946 и 1977 годах. Весна в Предгорьях Крыма теплая, но с частыми ночными и утренними заморозка-

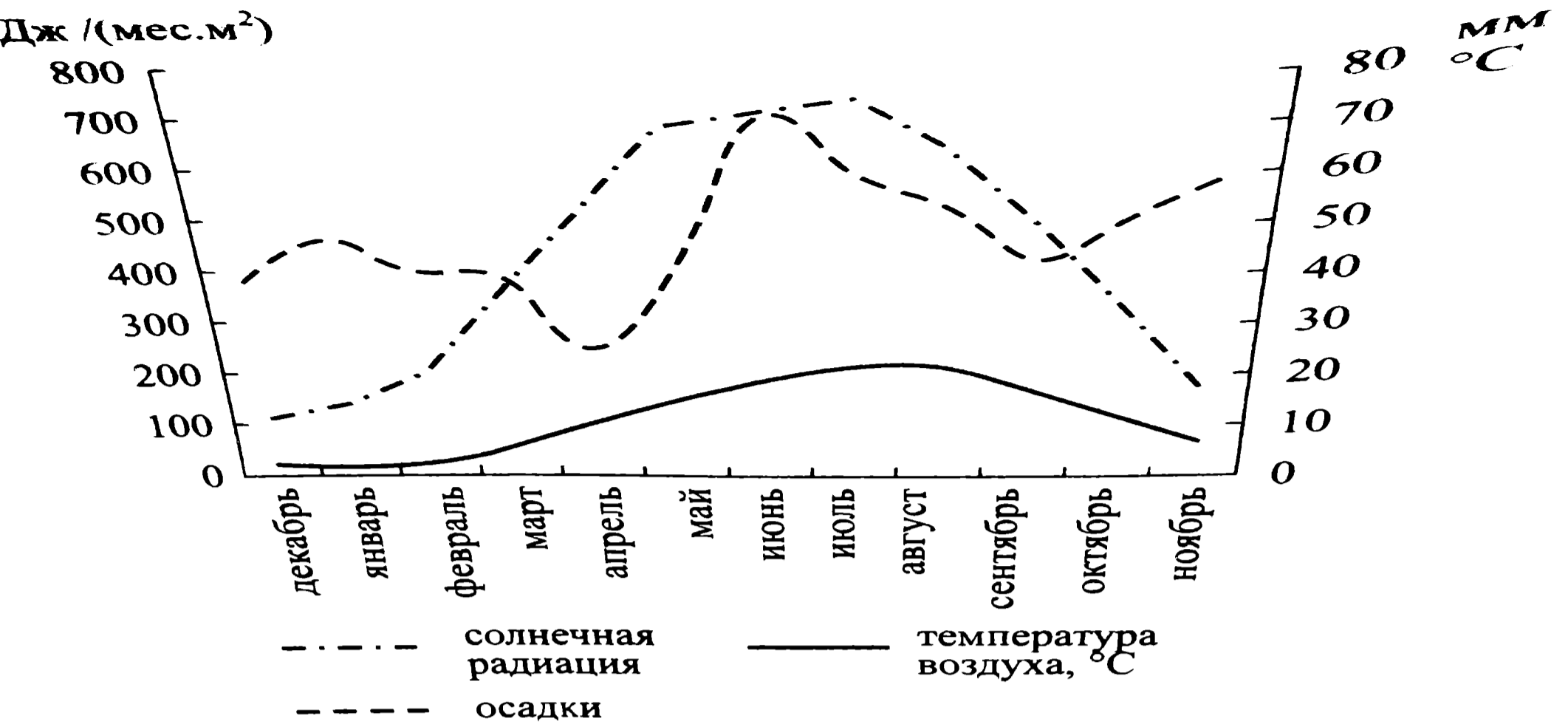


Рис. 2. Годовой ход среднемесячных температур воздуха, атмосферных осадков и суммарной солнечной радиации (1998–2009 гг.), пос. Почтовое.

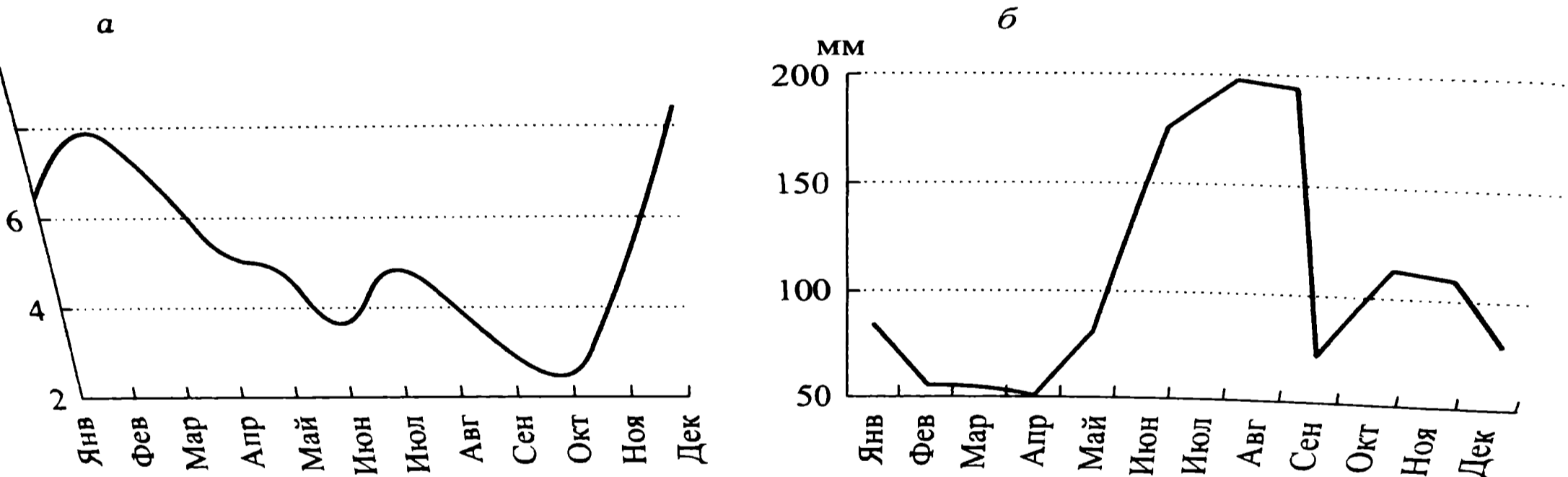


Рис. 3. Амплитуды среднемесячных температур воздуха (А) и амплитуды среднемесячных осадков (В), метеостанция пос. Почтовое (1998–2009 гг.).

ми, особенно в речных долинах, весна — наименее влагообеспеченный сезон года.

Снежный покров отличается большой неустойчивостью, наибольшая высота снежного покрова характерна для января. Залегание устойчивого снежного покрова, сохраняющегося в течение месяца, возможно лишь в многоснежные зимы. Снежный покров играет важную роль в формировании увлажнения Крымского Предгорья. За последний период наблюдения наиболее снежной выдалась зима 2009–2010 гг. (20 дней со средней высотой снежного покрова в 5,5 см). Наименее снежными были зимы 2006–2007 гг. (7 дней со средней высотой снежного покрова в 5,9 см и 13 дней — 3,6 см). Для Предгорьев Крыма средняя высота снежного покрова за рассматриваемый период составляет 5–10 см с максимальными значениями 10–20 см [4] (17 марта 2010 г. зафиксировано 17 см высоты снежного покрова по метеостанции пос. Почтовое).

При описании климата часто пользуются его числовой характеристикой — степенью

континентальности, которая определяется положением территории относительно акваторий морей и общими условиями циркуляции атмосферы. Для оценки континентальности климата в районе исследований были использованы формулы, предложенные В. Горчинским и С. П. Хромовым [6]:

$$K_{\text{по Горчинскому}} = 1,74 \cdot A / \sin \phi \quad \text{и} \quad K_{\text{по Хромову}} = (A - 5,4 \sin \phi) / A,$$

A — годовая амплитуда температуры; ϕ — географическая широта места.

По этим данным построены графики [рис. 4], на которых заметна тенденция уменьшения континентальности в изучаемом районе. Так как величина континентальности климата подвержена колебаниям, для ее описания использована полиномиальная аппроксимация. Полиномы шестой степени имеют самые высокие значения R-квадрат (0,905 и 0,889) и достаточно хорошо согласуются с фактическими данными (рис. 4).

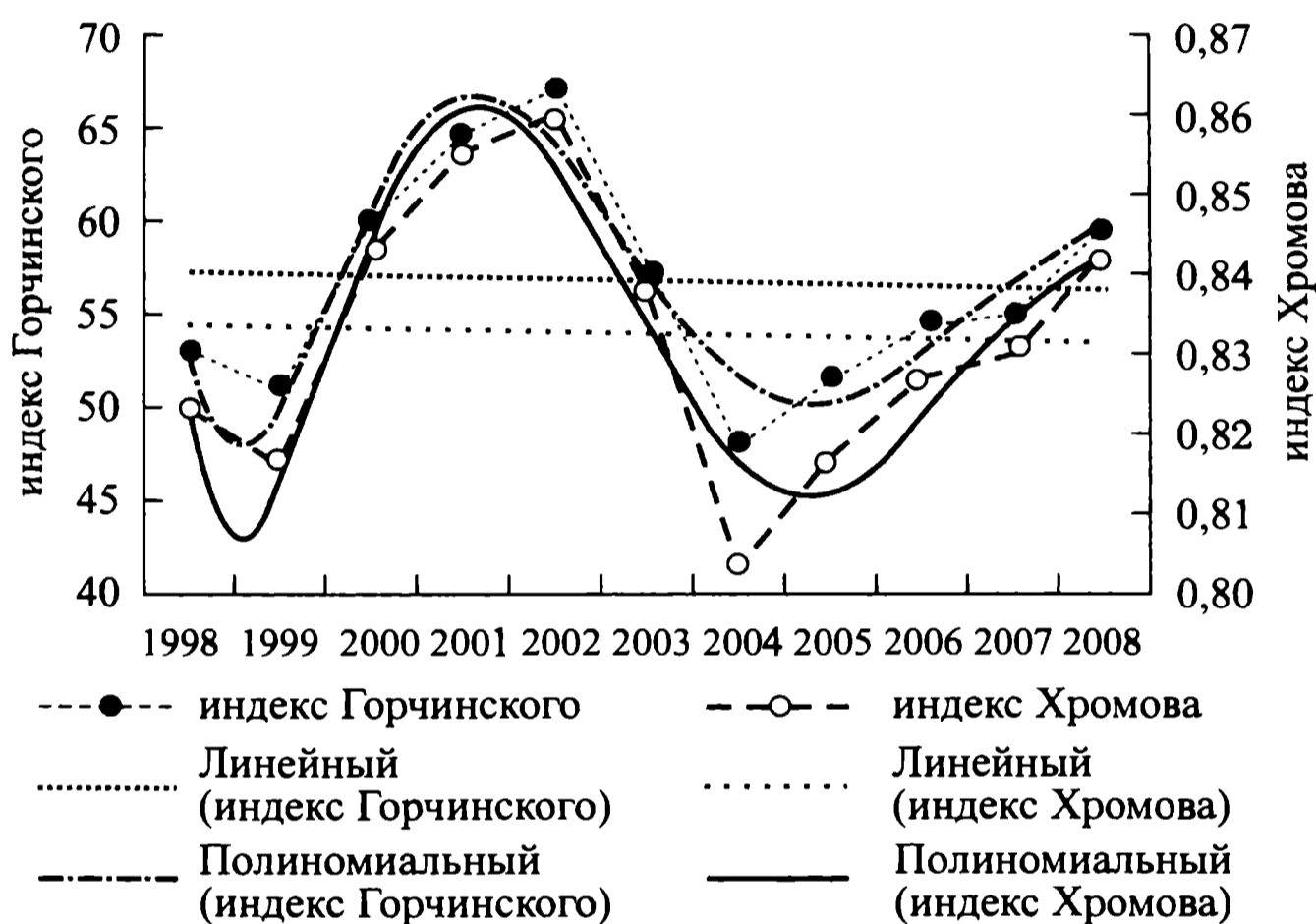


Рис. 4. Колебания индекса континентальности климата в Предгорьях Крыма (1998–2009 гг.).

Высотная поясность на изучаемой территории выражена нерезко (самая высокая гора на полигоне — г. Длинная (495 м), относительные превышения составляют 80–100 метров, тем не менее, с высотой основные климатические характеристики меняются. Вертикальные градиенты средней месячной температуры для горных районов Крыма, определенные Главной геофизической обсерваторией при помощи графиков зависимости температурой воздуха на станциях и их высотой, с подъемом уменьшаются в среднем на $0,62^\circ$ на каждые 100 м (табл. 3) [7].

Таблица 3. Вертикальные градиенты температур, $^\circ\text{C}/100\text{ м}$ [7]

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	средние годовые
0,65	0,62	0,58	0,57	0,55	0,64	0,72	0,71	0,65	0,55	0,58	0,62	0,62

Среднегодовое количество осадков на каждые 100 м подъема возрастает на 50–70 мм. В годовом ходе среднемесячных сумм осадков минимум приходится на апрель,

максимум — на июнь (25 мм и 72 мм соответственно за последние 12 лет), амплитуда колебаний — около 47 мм. Годовое количество осадков испытывает естественные колебания под влиянием изменения климата Крыма и планеты в целом [2].

Норма атмосферных осадков в изучаемом районе на период 1939–1965 гг. составляла 482 мм [1], на период 1930–1980 гг. — 523 мм, на современном этапе (1998–2009 гг.) эта цифра возросла до 560 мм (по данным метеостанции пос. Почтовое). Несмотря на то, что за период с 1998 г. по 2009 г. больше повторяемость лет, в которых годовая сумма осадков больше средней многолетней величины, чем лет с суммой осадков ниже средней многолетней величины, в целом же за этот период наблюдается снижение общего количества выпадающих атмосферных осадков (рис. 5, табл. 4).



Рис. 5. Ход количества осадков (мм), 1998–2009 гг.

Таблица 4. Динамика изменения средних температур воздуха (°С) и сумм атмосферных осадков (мм) по сезонам за период 1998–2009 гг.

осадки		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	средние сезонные
осадки зимы	мм	156,0	143,4	209,1	125,7	74,8	84,7	149,8	93,8	131,8	143,0	76,8	99,7	124,1
	%	24,6	21,4	47,6	23,7	8,8	18,5	25,0	16,2	20,2	31,0	17,1	25,6	23,3
Т°С зимы		2,1	2,5	2,3	3,4	1,5	-0,8	2,4	3,3	3,6	3,4	1,1	3,3	2,3
осадки весны	мм	123,3	115,1	76,2	129,8	82,8	68,0	107,9	117,7	90,8	74,1	155,5	120,4	105,1
	%	19,5	17,2	17,3	24,5	9,8	14,9	18,0	20,3	13,9	16,0	34,6	30,9	19,8
Т°С весны		10,9	10,5	10,9	10,7	10,5	9,0	10,4	9,7	10,5	10,6	11,6	9,9	10,4
осадки лета	мм	258,5	207,1	92,0	113,4	443,4	194,9	224,2	201,2	234,9	34,2	85,3	106,0	182,9
	%	40,8	30,9	20,9	21,4	52,3	42,6	37,5	34,8	36,0	7,4	19,0	27,2	30,9
Т°С лета		21,4	22,1	21,2	22,5	21,8	20,3	20,0	21,2	21,3	23,6	21,7	21,8	21,6
осадки осени	мм	95,3	204,1	62,2	160,7	246,8	110,3	116,2	166,2	194,6	210,5	131,8	63,0	146,8
	%	15,1	30,5	14,2	30,3	29,1	24,1	19,4	28,7	29,8	45,6	29,3	16,2	26,0
Т°С осени		11,8	11,0	12,1	11,7	12,8	11,5	12,0	12,4	11,9	12,0	12,4	13,6	12,1
осадки за все сезоны	мм	633,1	669,7	439,5	529,6	847,8	457,9	598,1	578,9	652,1	461,8	449,4	389,1	558,9

Линейный тренд динамики среднемесячных сумм атмосферных осадков на период с января 1998 г. по июль 2010 г. описывается следующим уравнением: $y(\text{мм}) = -0,0912x + 160,7$, где x — номер месяца наблюдений, $y(\text{мм})$ — величина слоя осадков в текущем месяце. Наклон линии тренда свидетельствует о тенденции снижения количества атмосферных осадков (0,09 мм/мес.) за исследуемый период времени главным образом за счет апреля (рис. 6).

Происходит и внутригодовое перераспределение осадков — ранее большее количество атмосферных осадков выпадало в холодную половину года (51–52% годовых), чем

в теплую (48–49%). В этот период чаще большее количество осадков приходится на теплый период (от 27% до 62%, медиана равна 54,2%).

В Крымских горах с марта по сентябрь, в ноябре, в декабре и, особенно, в августе дневные осадки (с 9–00 до 21–00) существенно преобладают над ночными (с 21–00 до 9–00). В январе и феврале ночных осадков немного больше, чем дневных. Суточный максимум осадков (на метеостанции пос. Почтовое) зафиксирован 26 июля 1956 г., когда за 7 часов 15 минут выпало 142 мм осадков (с интенсивностью 0,33 мм/мин.) [7], в период с 1998 г. по 2009 г. максимальные суточные значения осадков (66,9 мм) отмечены 2 июня 2005 г. Такое большое количество выпавших осадков приводит к катастрофическим природным явлениям, таким как наводнения и паводки, которые нередки в горах Крыма. В 2002 г. за июль и август (по данным метеостанции пос. Почтовое) выпало 198 мм и 197,8 мм осадков соответственно, что отразилось в ярко выраженном пике на рис. 6. В этот год р. Бодрак вышла из берегов, затопив дома местных жителей (особенно пострадало население пос. Скалистое). 20 августа 2004 г. после сильного ливня (25,6 мм) уровень р. Бодрак поднялся на 1 м — пострадали семь сел Бахчисарайского района, было затоплено шоссе Симферополь–Севастополь.

В Крыму 80–85% годовой суммы осадков выпадает в виде дождя. На долю снега приходится менее 10%, а смешанных осадков — 5–8%. В горах число дней с дождями колеблется около 150–170. Летом в Крыму наблюдается не более 5–10 дней с дождями за месяц [8].

Наиболее высокие значения неравномерности в распределении атмосферных осадков соответствуют летним месяцам. Именно в эти месяцы выпадает максимальное количество атмосферных осадков. Степень неравномерности определялась по формуле $j = \frac{\sum m_i - P/12}{P} 100\%$, где P — годовая сумма атмосферных осадков, m_i — месячная сумма осадков. Наименьшая степень неравномерности в годовом распределении осадков (38,1) соответствует 2001 г., наибольшая (80,2) — 2002 г. Именно 2002 г. отмечен природными катаклизмами, в этом году пять месяцев (апрель и период с июля по октябрь) отличались аномально высокими количествами атмосферных осадков за период 1998–2009 гг. [табл. 5]. В 2002 г. многие реки Крыма вышли из берегов, что привело к наводнениям (в июле и августе в Предгорьях Крыма вылилось почти 50% годовых осадков). По водности 2002 г. стоит на первом месте за последние 12 лет.

Суммарные осадки летнего сезона составляют в среднем 182,9 мм (30,9% годовых), но гидрологическая роль их невелика, так как большая часть уходит на испарение. Существует тенденция к уменьшению осадков в летний период (см. рис. 6). Статистически значимыми коэффициентами корреляции с годовыми осадками обладают летние осадки (0,87) и осенние (0,65). Осенью осадков выпадает меньше, чем летом, но наименьшее количество приходится на весенние месяцы (см. табл. 4).

В Крыму начало и конец климатических сезонов не совпадает с календарным делением на сезоны. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C весной принимается за окончание холодного и начало теплого периода, в районе исследования это происходит в начале-середине марта. Окончание лета (осенний переход средней суточной температуры воздуха через 15°C) приходится на третью декаду августа. По соотношению сумм весенне-летних осадков ($\sum P_{\text{III-VIII}}$) и осенне-зимних осадков ($\sum P_{\text{IX-II}}$) также можно судить о степени континентальности климата [9]. Коэффициент континентальности на изучаемой территории, рассчитанный по формуле $k = \sum P_{\text{III-VIII}} / \sum P_{\text{IX-II}}$ составил в среднем 1,08 (от 0,38 до 1,60, медиана 1,04), что соответствует полуконтинентальному климату. За последние годы в 4 случаях из 12 наблюдался неоконтинентальный ход осадков ($k < 1$) и в 8 случаев — полуконтинентальный ход осадков

($1 \leq k < 1,75$). Сезон с зимой 1998–1999 г. оказался наиболее близким к континентальному климату.

На индекс континентальности, который (как и осадки летнего периода) имеет тенденцию к снижению, в основном влияют суммарные осадки теплого периода года (коэффициент корреляции 0,8). На большей части полуострова Крым годовой ход осадков соответствует полуконтинентальному типу. В горах и предгорьях континентальность климата с высотой снижается. Динамика изменения коэффициента континентальности, рассчитанного по формуле $k = \sum P_{III-VIII} / \sum P_{IX-II}$, как и коэффициенты континентальности В. Горчинского и С. П. Хромова, хорошо описываются с использованием полинома пятой степени ($R^2 = 0,65$). Линейный тренд описывается уравнением $y = -0,0302x + 1,28$ ($R^2 = 0,09$), где x — номер года на блуждений.

Величины изменчивости осадков, относительно среднего значения, наибольшие в августе (коэффициент вариации 124,5%) и июле (коэффициент вариации 98,0%). В особенно дождливые годы слой осадков на поверхности земли может достигать до 198 мм (июль, август 2002 г.). Абсолютный минимум месячных осадков за исследуемый период (0,4 мм) зафиксирован в апреле 2009 г. (табл. 5).

Таблица 5. Статистические характеристики межгодовой изменчивости атмосферных осадков за период с 1998 г. по 2009 г. (мм)

осадки	среднее	медиана	минимум	год минимума	максимум	год максимума	дисперсия	стандартное отклонение	коэфф. вариации, %
январь	46,6	48,7	14,4	1999	98,7	2007	710,0	26,6	57,2
февраль	40,1	26,8	17,9	2002	73,8	2004	470,0	21,7	54,1
март	39,6	40,3	8,7	2004	63,6	2008	242,0	15,6	39,3
апрель	25,0	22,2	0,4	2009	52,4	2002	291,2	17,1	68,2
май	40,5	38,6	2,2	2003	84,5	2004	1003,2	31,7	78,1
июнь	72,0	61,7	19,3	2007	195,1	1998	2747,4	52,4	72,8
июль	59,5	46,1	0,9	2007	198,0	2002	3395,8	58,3	98,0
август	51,5	20,0	4,2	1998	197,8	2002	4113,6	64,1	124,5
сентябрь	40,6	33,2	9,7	2009	83,1	2002	733,6	27,1	66,7
октябрь	48,3	40,5	13,5	2009	127,5	2002	1280,7	35,8	74,1
ноябрь	57,9	42,0	4,1	2000	113,4	2007	1236,7	35,2	60,7
декабрь	38,9	33,2	10,2	2002	89,6	2005	670,8	25,9	66,5
период III–VIII	288,1	290,9	108,3	2007	526,2	2002	11484,7	107,2	37,2
период IX–II	270,5	249,4	187,9	2000–2001	413,2	1999–2000	4275,6	65,4	24,7
коэфф. конт-ти	1,08	1,04	0,38	2007	1,60	1998	0,13	0,36	31,92
годовая сумма	560,4	553,3	396,5	2000	825,7	2002	16824,4	129,7	23,1

В распределении количества осадков и по годам, и по временам года наблюдается пестрая картина (см. табл. 1, 5). Обычно, максимум осадков приходится на первую половину лета, когда при высоких дневных температурах (до 20–25°C) нередки ливневые дожди. Изменчивость месячных сумм осадков выше, чем годовых. Внутригодовую неравномерность подчеркивает слой максимальных значений месячных осадков и температур. Минимальные суммы атмосферных осадков в разные месяцы мало отличаются друг от друга (размах — 19 мм), в отличие от максимальных, где размах колебаний достигает до 146 мм. Максимальная разница проявляется в летние месяцы. Что касает-

ся температур, то здесь размах минимальных температур воздуха выше, чем максимальных, а разница максимальных и минимальных температур наибольшая в зимние месяцы. Наблюдается следующая зависимость: чем больше разница максимальных и минимальных величин осадков, тем меньше разница максимальных и минимальных температур.

Наиболее влагообеспеченный сезон года — лето (30,9% годовых), а влагообеспеченные месяцы — июнь и июль (в среднем выпадает 72 и 60 мм осадков соответственно). Существует отчетливая тенденция к снижению суммы летних осадков особенно за счет июня (линейный тренд имеет наибольшую величину углового коэффициента). Все летние месяцы имеют линии трендов осадков с отрицательным знаком. Именно тенденция к снижению летних осадков оказывает главенствующее влияние на снижение суммы годовых осадков (коэффициент корреляции 0,87). Существует тенденция снижения зимних осадков (за счет февраля).

Самые высокие коэффициенты корреляции месячных осадков с годовыми суммами осадков имеют месяцы: октябрь (0,81), июль (0,63) и август (0,59). Только в эти месяцы коэффициенты корреляции являются статистически значимыми. Проверка выполнялась по критерию Стьюдента с заданной вероятностью 0,05.

В отличие от летних месяцев в остальные сезоны года происходит чередование трендов атмосферных осадков — месяц с отрицательной тенденцией сменяется месяцем с положительной тенденцией.

Наименее влагообеспеченный сезон года — весна (19,8% годовых), а месяц — апрель, который оказался наиболее скудным из всех месяцев года за исследуемый период времени (лишь 25 мм среднемноголетних осадков). В этот же месяц наблюдается отрицательная тенденция в ходе осадков.

В начале прошлого века в Предгорьях Крыма (г. Симферополь) наблюдался незначительный рост количества осадков. На рубеже 1920 г. началось постепенное снижение (преобладала тенденция медленного убывания суммы годовых осадков). За 77 лет (с 1900 г.) сумма годовых осадков уменьшилась на 50 мм [4].

Что касается сезонных изменений, то в зимний период в первую половину XX в. произошло небольшое увеличение количества атмосферных осадков, а в последующие 25 лет — значительное их уменьшение (на 20% за период с 1900 по 1977 гг.). Весной количество осадков в Симферополе в течение первых 30 лет почти не менялось, но примерно с 1960-х гг. их количество несколько увеличилось (наименьшая изменчивость за долгосрочный период). В летний период на рубеже 20-х годов тенденция увеличения количества осадков сменилась на тенденцию уменьшения (уменьшение за 77 лет на 15–20%). Осенью в первые 20 лет XX века осадки росли, а затем на протяжении 40 лет уменьшались, и только с конца 50-х годов началось заметное увеличение количества осадков [4].

Если за период с 1900 г. по 1977 г. снижение количества годовых осадков составило 50 мм, то за последний 12-летний период (с 1998 г.) наметилась тенденция — около 1 мм/год. Тенденция снижения летних осадков выше, чем зимних (см. рис. 6).

Выпадение осадков в значительной степени зависит от влажности воздуха. Годовое и суточное изменение относительной влажности противоположно изменению температуры воздуха. Среднегодовая относительная влажность воздуха в районе метеостанции пос. Почтовое за долгосрочный период около 72%, максимальные среднемесячные значения приходились на декабрь и январь, минимальные — на июль и август [1]. На период с 2006 г. по настоящее время значения относительной влажности несколько понизились и среднегодовая величина едва достигла 70%, при изменениях среднеме-

сячной относительной влажности от 58% (в августе) до 80% (в декабре), метеостанция пос. Почтовое.

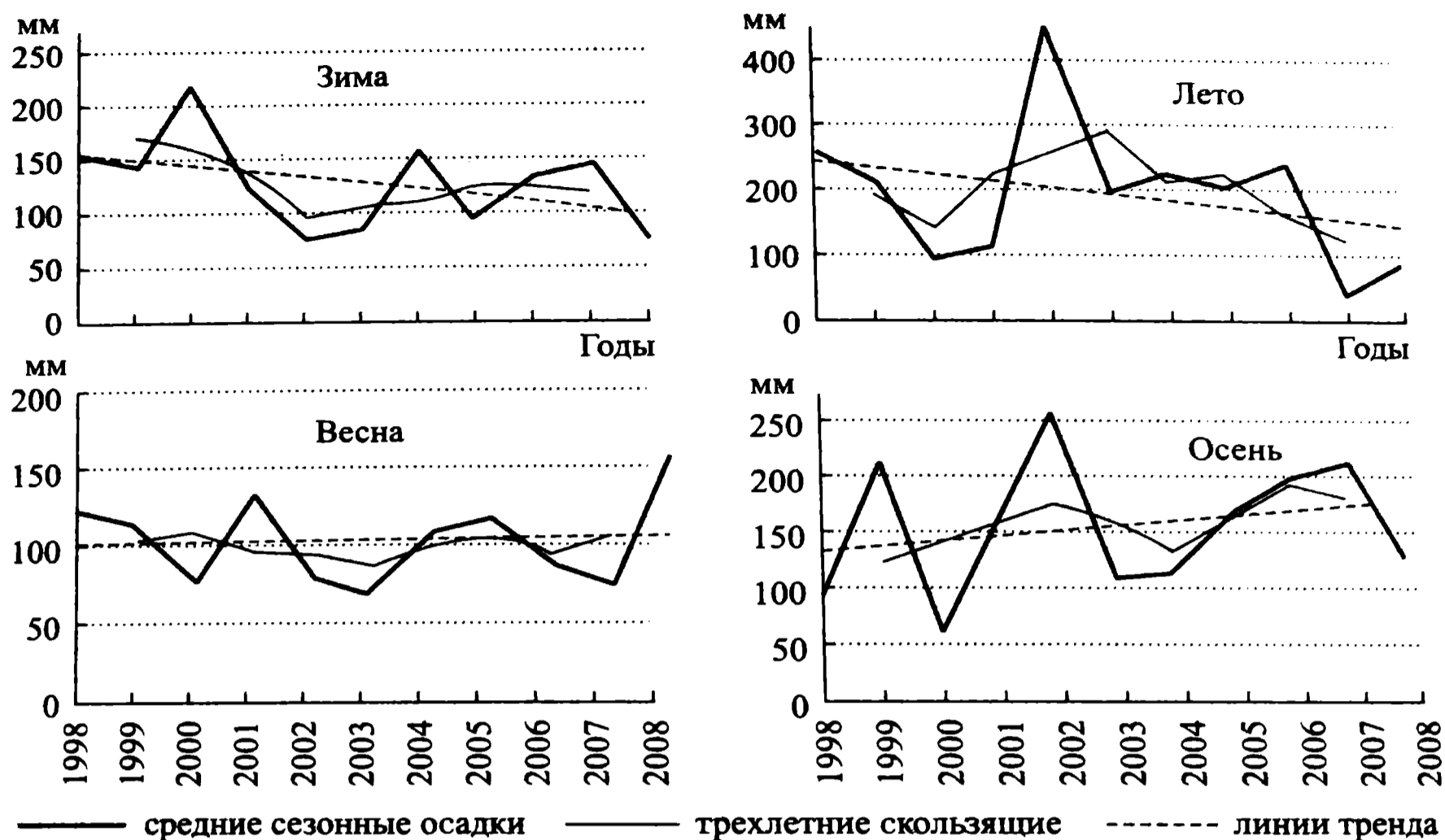


Рис. 6. Тенденция сезонных изменений количества осадков (мм), 1998–2008 гг.

В летний период, когда относительная влажность воздуха минимальна, а весенние запасы влаги почти исчерпаны, атмосферные осадки приобретают особенно большое значение (часть осадков испаряется с поверхности, а другая просачивается в почву). Запасы поверхностных и подземных вод напрямую зависят от количества атмосферных осадков.

Важную роль в этом вопросе играет растительность. Лес, покрывающий склоны гор, весной уменьшает испарение выпадающих осадков, увеличивая тем самым запасы поверхностных и подземных вод. Количество выпадающих осадков не является показателем увлажнения территории (необходимо учитывать испарение, которое определяется температурой воздуха).

Для оценки увлажнения территории принято использовать коэффициент увлажнения Г. Н. Высоцкого—Н. Н. Иванова (отношение нормы осадков к испаряемости). При коэффициенте увлажнения меньше единицы увлажнение территории считается недостаточным (годовая испаряемость превышает годовую сумму атмосферных осадков). Коэффициент увлажнения для исследуемой территории — около 0,7, то есть увлажнение изучаемой территории умеренно недостаточное. При вычислении коэффициента увлажнения были использованы значения испаряемости, полученные из литературных источников и с помощью вычислений (табл. 6).

Годовая испаряемость вычислялась по двум методикам. Одна, предложенная Е. Д. Голченко и Н. С. Лободой [10] для территории Украины, учитывает определяющее влияние на испаряемость суммы среднемесячных температур за летний период с

мая по сентябрь $E_0 = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T} - 307$. Другая — основана на влиянии высотной э-

Таблица 6. Климатические характеристики полигона геологической практики

Средняя температура воздуха, °С; январь (1998–2009 гг.)	2,1 (-1,4–5,1)*
Средняя температура воздуха, °С; июль (1998–2009 гг.)	22,8 (20,6–25,4)*
Максимальная из средних температур воздуха за июль, °С;	25,4* (2001 г.)
Средняя температура воздуха, °С; годовая (1998–2009 гг.)	11,6 (10,5–12,4)*
Среднегодовая амплитуда температур, °С (1998–2009 гг.)	23,0 (19,5–27,2)*
Годовые суммы активных температур выше 10°С (выше 20°С)	3160**(1195**)
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	39**
Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	-27**
Продолжительность солнечного сияния, час.; год (июль)	2458 (356)****
Суммарная солнечная радиация, МДж/м ² ; год (июль)	5186 (754)***
Радиационный баланс, МДж/м ² ; год (июль)	2248 (396)***°
Среднемноголетние годовые суммы атмосферных осадков, мм	482**
Среднемноголетние суммы осадков за ноябрь–март, мм	209 (43,4% годовых)**
Среднемноголетние суммы осадков за апрель–октябрь, мм	273 (56,6% годовых)**
Среднегодовая сумма осадков Р (min-max), мм (1998–2009 гг.)	560 (396,5–825,7) *
Наибольшее кол-во осадков в месяц, мм (1998–2009 гг.)	198,0 (июль 2002)*
Наименьшее кол-во осадков в месяц, мм (1998–2009 гг.)	0,4 (апрель 2009)*
Суточный максимум осадков, мм	122 ^x
Барометрическое давление, гПа (гПа=10 ² Па)	990 ^x
Недостаток насыщения, мб (январь–июль)	5,2 (1,4–11)**
Относительная влажность воздуха в 13 ч., %, годовая	75 (в июле – 51)***
Годовая величина испарения Е, мм	457***
Годовая величина испаряемости Е _о , мм	958*** 985*°1 885*°2
Относительное испарение Е/Е _о	0,53***
Дефицит испарения Е _о -Е, мм (апрель–октябрь)	457***
Коэффициент увлажнения k=P/E _о	0,67*°1 0,71*°2
Коэффициент испаряемости Е _о /Р	1,5***° 1,5*°1 1,4*°2
Общее (абсолютное) увлажнение Р-Е, «климатический сток»	116
Континентальность климата по С. П. Хромову (min-max)	0,83 (0,80–0,86)
Континентальность климата по В. Горчинскому (min-max)	56,58 (48,01–66,97)
Континентальность по формуле $k = \sum P_{III-VIII} / \sum P_{IX-II}$ (min-max)	1,085 (0,38–1,60)
Преобладающее направление ветра за декабрь–февраль	СВ ^x
Преобладающее направление ветра за июнь–август	В ^x
Максимальная средняя скорость ветра по румбам, январь, м/с	7,4 ^x
Максимальная средняя скорость ветра по румбам, июль, м/с	2,7 ^x

Примечания: * – по данным метеостанции пос. Почтовое (за последние 12 лет); ** – по данным справочника по климату [1]; *** – для Предгорий Крыма «Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма» [4]; **** – по данным В. Н. Бабиченко для Предгорий Крыма «Климат Украины» [7]; ^x – по данным СНИП 23-01-99 [15]; ° – значения получены с учетом вертикальных градиентов (в Крыму на каждые 100 м подъема уменьшение радиационного баланса в год составляет 25 МДж/м², уменьшение среднегодовых температур – 0,62°С, увеличение среднегодовых осадков – около 60 мм) [4];

*°1 – рассчитано по формуле: $E_o = 13,3 \sum_{IX} \bar{T} - 307$ [10]; *°2 – рассчитано по формуле $E_o = 951 - 0,387(H - 100)$ [11].

нальности (по данным 35 метеостанций горной части Крыма предложена зависимость, отражающая изменение норм теплоэнергетического эквивалента с высотой местности) $E_0 = 951 - 0,387(H - 100)$ [11] (см. табл. 6).

Наибольшие величины испаряемости — в июле. С ноября по февраль осадки превышают испаряемость, с марта по октябрь — испаряемость превышает осадки. Фактическое испарение всегда меньше годового количества атмосферных осадков. Годовые суммы испарения определяются испарением за теплую часть года. Максимальные значения испарения принимает в июне. В теплые месяцы (с апреля по август) испарение превышает количество выпавших осадков. Наибольшее значение дефицит испарения приобретает в августе, относительное испарение максимально в зимние месяцы [4, 12].

Определяющее влияние на формирование климата оказывают общая циркуляция атмосферы, формирование и трансформация воздушных масс над полуостровом, на которые огромное влияние оказывают отроги Азиатского (Сибирского) и Азорского антициклонов. В холодный период формирование воздушных масс происходит под влиянием Западного отрога Азиатского антициклона (полоса повышенного давления), в теплый — усиливается влияние отрога Азорского антициклона. Атмосферные циркуляции кроме морских воздушных масс приносят континентальные массы воздуха из различных районов Евразии.

Зимой и осенью Крым оказывается в зоне действия северо-восточных и восточных ветров (происходит вторжение континентального полярного воздуха), активизируется Азиатский антициклон, однако летом он ослабевает, зато усиливается Азорский, увеличивая влияние западных ветров. Кроме этого, в динамике климатических изменений большую роль играют циклоны. В последнее десятилетие происходит перестройка циркуляции атмосферы (меняются центры циркуляции), что приводит к региональным изменениям климата и его составляющих: температуры воздуха, режима атмосферных осадков, увеличению стихийных бедствий. В настоящее время преобладает антициклональный тип погоды, который связан с Азорским максимумом [3, 13].

Выпадение атмосферных осадков в теплый и особенно в холодный периоды года

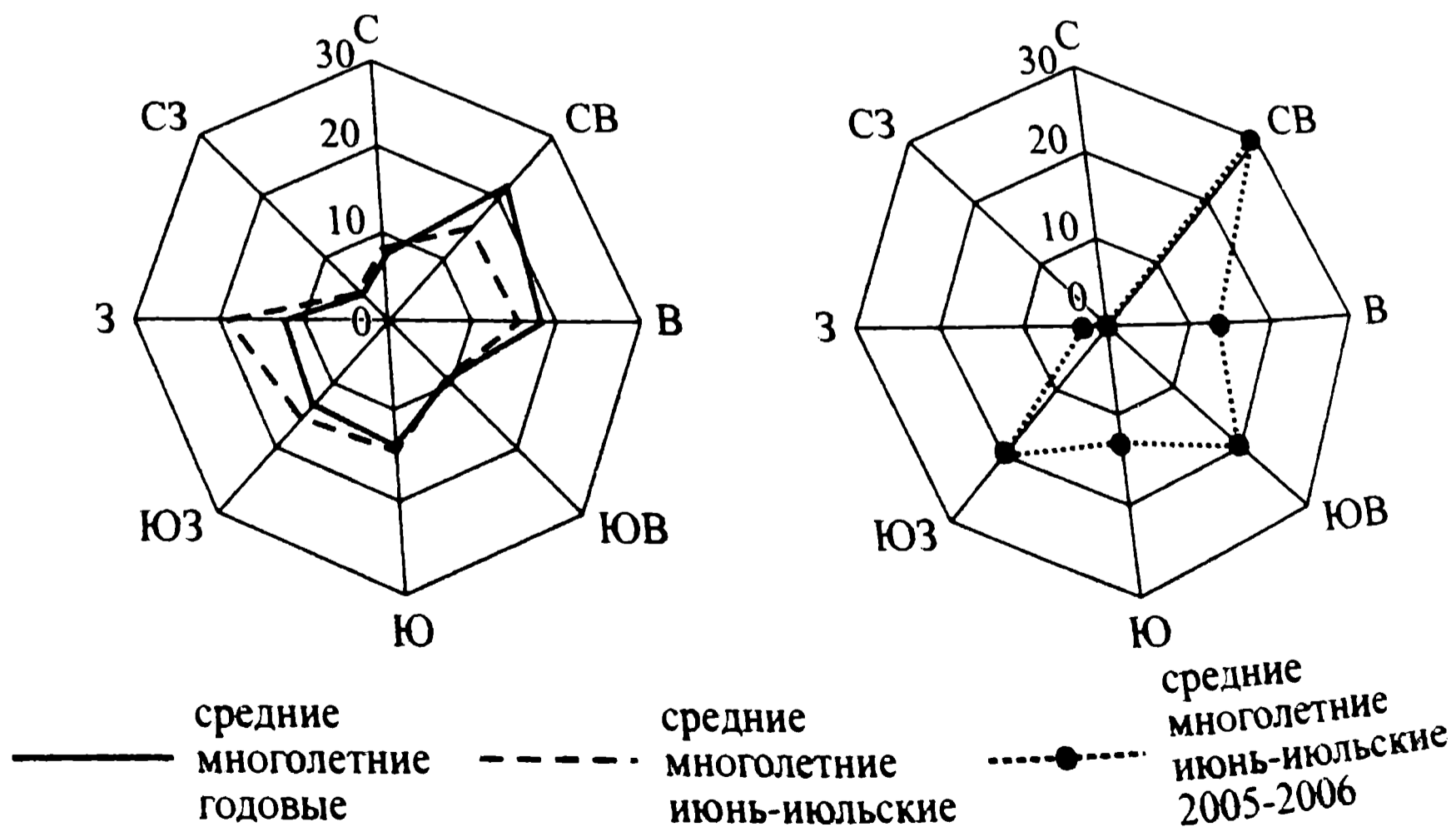


Рис. 7. Розы ветров Предгорьев Крыма — среднемноголетние (А), метеостанция пос. Почтовое (2005– 6 гг.) (В) [14].

связано, главным образом, с циклонической деятельностью, которая осуществляется Средиземноморскими циклонами (с юго-запада) и, в меньшей степени, Атлантическими циклонами (с северо-запада) или вхождением континентального воздуха (с северо-востока). В теплые периоды циклоническая деятельность стихает. Наряду с общей циркуляцией атмосферы, существуют местные циркуляции (горно-долинные ветры, склоновые потоки и т. п.).

По данным Интернет-ресурсов [14], преобладающие ветры в Предгорьях — северо-восточные и восточные, в меньшей степени южные, юго-западные и западные (рис. 7, А). Летом (по среднемноголетним данным метеостанции г. Симферополя) повторяемость северо-восточных ветров составляет 16,3%, восточных — 17,4 %, юго-западных — 12,6%, южных до 12,6%. Поздней осенью и зимой часты порывистые сильные и холодные северо-восточные ветры. Летом случаются сухие фены. Масса переносимого воздуха зависит не только от направлений ветра, но и от скорости, с большей скоростью дуют северо-восточные ветры. По данным Интернет-ресурсов построена роза ветров для Предгорий Крыма для летних месяцев (июнь–июль) на период 2005 – 2006 гг. (рис. 7, В), из рисунка следует, что, по крайней мере, летом в 2005 и 2006 гг. практически отсутствовали ветра западных направлений, а северо-восточные ветра имели определяющее значение.

Выводы

Изучаемый период (1998–2009 гг.) оказался самым теплым за период наблюдений с 1929 года, причем динамика повышения температур резко возросла именно в последние десятилетия. Сравнение среднегодовых температур воздуха двух периодов (1998–2009 гг. и 1929–1965 гг.) свидетельствует о ее повышении на $1,3^{\circ}\text{C}$. В прошлом веке на фоне колебаний преобладала тенденция медленного роста средней температуры воздуха. Эта тенденция сохраняется и в современный период. За 77 лет (с 1900 г.) средняя температура воздуха в пределах Второй гряды Крымских гор возросла на $0,2^{\circ}\text{C}$ [4].

Средняя годовая температура воздуха в районе полигона Крымской геологической практики около $11,6^{\circ}\text{C}$, принимая максимальные значения в июле и минимальные в январе. Отрицательные аномалии среднемесячной температуры воздуха связаны с периодами преобладания северо-восточных ветров. В настоящий период наблюдается тенденция повышения температуры $0,37^{\circ}/10$ лет. Годовой радиационный баланс положителен и достигает $2248 \text{ МДж}/\text{м}^2$.

Среднемноголетняя величина годовой суммы осадков за период наблюдений 1998–2009 гг. выше нормы 1939–1965 гг. на 16%. На фоне отрицательного линейного тренда существует повышение годовой суммы осадков за счет повышения увлажнения в теплый период.

В период с 1998 г. по настоящее время наблюдается отрицательный тренд количества атмосферных осадков (с динамикой около 1 мм/год). Основное влияние на тренд годовых осадков оказывает лето (коэффициент корреляции 0,9) Во временном ходе месячного количества атмосферных осадков наиболее значимый тренд на снижение оказывают июнь и февраль.

Годовой ход количества атмосферных осадков изменяется в диапазоне от 25 мм (в апреле) до 72 мм (в июне). За столетие произошло внутригодовое перераспределение осадков — теперь в теплые месяцы года выпадает больше осадков, чем в холодные (в среднем на 6,5%), до 1965 г. было наоборот.

Проделанные расчеты показали, что по соотношению годовых значений испаряемости и годовых количеств атмосферных осадков территория относится к зоне недостаточного увлажнения.

По отношению количества осадков в теплый период к количеству осадков в холодный период климат полигона относится к полуконтинентальному. Климат за рассматриваемый 12-летний период на фоне некоторых колебаний имеет тренд на потерю континентальности, что, по всей вероятности, связано с изменением общей циркуляции атмосферы, которое вызывает изменения температур приземного воздуха.

Темпы повышения минимальных температур воздуха выше по сравнению с максимальными температурами, вследствие этого существует тенденция уменьшения суточной (и годовой) амплитуды температуры воздуха.

Изменение норм климатических показателей (температуры, количества атмосферных осадков, скорости и направления ветра и т.п.) приводит к росту повторяемости их экстремальных величин, что может провоцировать катастрофические явления.

Вследствие перераспределения тепла и влаги в атмосферных потоках меняется атмосферная циркуляция, что приводит к изменениям температуры и количества осадков, отражается на ветровом режиме и в конечном итоге происходит изменение климата на региональном уровне.

Литература

1. Справочник по климату СССР. Кн. I. Л.: Гидрометеиздат, 1967. Сер. 3. Вып. 10. 604 с.
2. Изменение климата, 2007. Обобщающий доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 с. http://www.ipcc.ch/home_languages_main_russian.htm (дата обращения: 01.09.2010).
3. *Бабиченко В. Н.* Пятое национальное сообщение Украины по вопросам изменения Климата. Подраздел 2.4. Климат Украины. Киев, 2009. 367 с. <http://unfccc.int> (дата обращения: 01.09.2010).
4. Климат и опасные явления Крыма // Под ред. К. Т. Логвинова, М. Б. Барабаш. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 318 с.
5. *Рибченко Л. С., Ревера Т. О.* Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. // Наук. праці УкрНДГМІ. 2007. Вип. 256. С. 99–111.
6. *Хромов С. П.* Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.
7. Климат Украины // Под ред. Г. Ф. Приходько, А. В. Ткаченко, В. Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 414 с.
8. *Бабков И. И.* Климат. Симферополь, 1996. 40 с.
9. *Швер Ц. А.* Закономерности распределения количества осадков на континентах. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 288.
10. *Гонченко С. Д., Лобода Н. С.* Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу // Наук. праці УкрНДГМІ. 2001. Вип. 249. С. 106–120.
11. Устойчивый Крым. Водные ресурсы. Симферополь, «Таврида», 2003. 413 с.
12. *Пицолка В. М.* Суммарное испарение и испаряемость на территории Украины // Труды УкрНИГМИ. 1973. Вып. 128. С. 106–116.
13. Всемирная конференция по изменению климата // Тезисы докладов. М., 2003. 700 с.
14. <http://meteo.infospace.ru>, <http://gr5.ua> (дата обращения: 01.09.2010).
15. СНИП 23-01-99. Строительная климатология. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Дата введения 2000-01-01. 79 с.

Статья поступила в редакцию 23 июня 2010 г.