

УДК: 551.582.2

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-73-87

Т.П. Варшанина¹, Е.П. Свиридова², В.Ю. Пьянков³

**ФАКТОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ГИС
«ПАСПОРТ КЛИМАТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ»**

АННОТАЦИЯ

Исследование направлено на определение оптимальной структуры данных системы регионального мониторинга и прогнозирования изменения климата и связанных с этим погодно-климатических рисков для социально-экономической инфраструктуры Республики Адыгеи. Базовыми пространственными единицами мониторинга определены ландшафтно-климатические районы, выделенные по сочетанию факторов, корректирующих зональный режим хода метеорологических процессов на Северо-Западном Кавказе в условиях горно-равнинной Адыгеи. Относительно ландшафтно-климатических районов выявлены различия как в изменении климатических параметров в многолетнем и в годовом ходе, так и в повторяемости и степени выраженности опасных и неблагоприятных гидрометеорологических процессов. Предварительные исследования изменения климата в Адыгее и результаты реанализа выявили устойчивый тренд потепления климата, особенно интенсивное за последние 20 лет (1,2 °C/10 лет), обусловленное повышением температуры в холодную половину года при слабом изменении температуры теплого периода. Резкое повышение температуры воздуха за последние два десятилетия выдвигает на первый план проблему современного изменения климата и его последствий. Получены результаты, доказывающие когерентность хода параметров энергетического поля приземной атмосферы (градиентного поля температуры) с ходом параметров выраженности гидрометеорологического явления в точке прогнозирования. Предлагается в моделях прогнозирования гидрометеорологических явлений и процессов различной заблаговременности в качестве предиктора использовать величину регионального градиента температуры, отражающую динамику термического поля региона. Успешное долгосрочное прогнозирование погодно-климатических явлений обеспечит выполнение тех функций, которым предназначен «Паспорт климатической безопасности».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: климатическая безопасность региона, ландшафтно-климатическое районирование, тренды климатических изменений, структура данных ГИС «Паспорта климатической безопасности»

¹ Адыгейский государственный университет, НИИ комплексных проблем АГУ, Центр интеллектуальных геоинформационных технологий, ул. Гагарина, д. 13, Майкоп, Россия, 385000, *e-mail: vtp01@mail.ru; gic-info@yandex.ru*

² Адыгейский государственный университет, НИИ комплексных проблем АГУ, Центра интеллектуальных геоинформационных технологий, ул. Гагарина, д. 13, Майкоп, Россия, 385000, *e-mail: gic-info@yandex.ru*

³ Адыгейский государственный университет, НИИ комплексных проблем АГУ, Центра интеллектуальных геоинформационных технологий, ул. Гагарина, д. 13, Майкоп, Россия, 385000, *e-mail: gic-info@yandex.ru*

Tatyana P. Varshanina¹, Elena P. Sviridova², Vladislav Yu. Piankov³

**CARTOGRAPHIC AND FACTUAL SUBSTANTIATION
OF THE DATA STRUCTURE OF THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
«CLIMATE SAFETY PASSPORT OF THE REPUBLIC OF ADYGEA»**

ABSTRACT

The study is aimed at determining the optimal data structure of the regional monitoring and forecasting system of climate change and related weather and climate risks for the socio-economic infrastructure of the Republic of Adygea. The basic spatial units of monitoring identified landscape and climatic regions, allocated according to a combination of factors correcting the zonal mode of meteorological processes in the North-West Caucasus under the conditions of the mountain-plain Adygea. With regard to landscape and climatic areas, differences have been identified in both the variation of climatic parameters in the multi-year and annual course, and in the recurrence and severity of hazardous and adverse hydrometeorological processes. Preliminary studies of climate change in Adygea and the results of reanalysis have revealed a steady trend of warming of the climate, especially intensive in the last 20 years (1.2 °C/10 years), caused by the increase of temperature in the cold half of the year, at a low temperature change of the warm period. The dramatic increase in air temperature over the past two decades highlights the challenge of current climate change and its impacts. The results proving coherence of the course of parameters of the energetic field of the ground atmosphere (gradient field of temperature) with the course of parameters of intensity of the hydrometeorological phenomenon at the forecasting point have been obtained. It is proposed to use the regional temperature gradient value reflecting the dynamics of the thermal field of the region as a predictor in models of forecasting hydrometeorological phenomena and processes of different advance. Successful long-term forecasting of weather-climatic phenomena will provide the fulfillment of those functions, which are intended «Climate Safety Passport».

KEYWORDS: climatic security of the region, landscape climatic zoning, climate change trends, climate prediction, the structure of the geographic information system «Climate Safety Passport»

ВВЕДЕНИЕ

В современных представлениях обеспечение климатической безопасности заключается в прогнозировании изменений климата, связанных с ним неблагоприятных и опасных ситуаций и в упреждающем реагировании на предстоящие угрозы, обеспечивающем или возможную адаптацию к изменениям, или минимизацию их последствий.

Для выбора вариантов и способов адаптации хозяйства и человека к прогнозируемым изменениям климата на региональном уровне необходимы исследования закономерности преломления макроклиматического фона и его изменений в физико-географических условиях региона, а на локальном уровне — в термодинамических условиях ландшафтов.

¹ Adyge State University, Research Institute of Complex Problems of ASU, Center of Intellectual Geoinformation Technologies, Russian Federation, 13, Gagarina str., Maykop, 385000, Russia, e-mail: vtp01@mail.ru; gic-info@yandex.ru

² Adyge State University, Research Institute of Complex Problems of ASU, Center of Intellectual Geoinformation Technologies, Russian Federation, 13, Gagarina str., Maykop, 385000, Russia, e-mail: gic-info@yandex.ru

³ Adyge State University, Research Institute of Complex Problems of ASU, Center of Intellectual Geoinformation Technologies, Russian Federation, 13, Gagarina str., Maykop, 385000, Russia, e-mail: gic-info@yandex.ru

В связи с этим первым этапом процесса создания ГИС климатического паспорта горно-равнинной Адыгеи является систематизация фактологических данных климатических условий и показателей, обуславливающих формирование ландшафтно-климатических зон в условиях региона. Этот этап предшествует последующей разработке структуры данных пространственно-дифференцированного автоматизированного мониторинга и прогнозирования изменчивости и изменений климата и их последствий для адаптации к ним жизни населения и хозяйственной деятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе приведены результаты анализа данных гидрометеорологических наблюдений 29 метеостанций и постов Северо-Западного Кавказа за период с 1906 по 1999 гг. методами статистической обработки данных метеорологических наблюдений для пространственного анализа [Хромов, Петросяну, 2001; Аргучинцева, 2007; Груза, Ранькова, 2012; Дегтярев и др., 2015].

Климатическое районирование Северо-Западного Кавказа произведено в соответствии с масштабом пространственно-дифференцирующей роли средоформирующих факторов на нескольких уровнях генерализации [Варшанина, Митусов, 2005].

Территориальные объекты макроклиматической системы идентифицированы в результате изучения закономерности распределения фоновых климатических характеристик и величины/направления вектора их градиентов. Оценивались параметры годовой амплитуды и годового хода температуры воздуха, атмосферного давления, направления и скорости ветра, количества штилей, форм облаков.

Критериями оценки влияния морских и континентальных воздушных масс выступили:

1. степень континентальности климата (оценивалась по годовой амплитуде температуры);
2. типы годового хода температуры и осадков;
3. годовой ход относительной влажности воздуха;
4. режима ветра (преобладающее направление, скорость).

На макроуровне на Северо-Западном Кавказе важным дифференцирующим фактором выступает атмосферная циркуляция. Определение пространственных единиц преобладающего влияния циркуляции, характерной для южных районов ЕТР и Черноморского побережья Кавказа, производилось путем выделения:

- зон преобладающего влияния континентального и морского воздуха (по типам годового хода метеоэлементов, барометрическому режиму, направлению/величине градиентов температуры и осадков);
- зон их совместного влияния (по аномалиям годового хода метеоэлементов, направлению/величине градиентов температуры и осадков).

Пространственные единицы климата на региональном уровне идентифицированы по однотипным величине/направлению градиентов основных климатоформирующих факторов: температуры и осадков. Поля гидротермических градиентов, построенные по среднегодовым данным, отражают пространственную дифференциацию климатических процессов Западного Кавказа.

В качестве пространственной единицы субрегионального климата принята однородная по комплексу характеристик, интерпретирующих средоформирующие климатические параметры территории, на которой в мезомасштабе сохраняется единое

соотношение среднегодовых направлений градиентов температуры и осадков. Границы субрегиональных пространственных единиц климата выделены по резкому изменению величины/направления градиентов и по линиям их сходимости/расходимости.

По характеру модификации климата в рельефе выделены ареалы с преобладающими: а) зональностью/секторностью, б) трансформацией под воздействием подстилающей поверхности. В первом случае климат обусловлен преимущественно свойствами приходящих воздушных масс и особенностью циркуляции на макроуровне. Во втором — развиты процессы, обусловленные трансформацией воздушных масс в рельефе, а циркуляция атмосферы задает только общие черты климата.

Недостаточность данных инструментальных наблюдений для климатического районирования горной части республики потребовала привлечения косвенных сведений о характере почвенного покрова на водораздельных пространствах, растительности, положении снеговой линии, густоте речной сети, стоке и т. п.

Тенденции изменчивости макроклимата исследовались за период с 1906 по 1999 гг. в результате вычисления трендов климатических величин, отражающих изменения режима циркуляции на Западном Кавказе. Пространственные закономерности трендов метеоэлементов на Северо-Западном Кавказе и в Адыгее выявлялись с применением линейного тренда, оцениваемого методом наименьших квадратов.

Использованы также результаты анализа общих тенденций изменения климата в Республике Адыгее методом реанализа за период с 1900 по 2015 гг. [Solomon et al., 2007; Kostianoy et al., 2017]. Источником информации в этом исследовании служили среднемесячные и среднесуточные данные, рассчитанные по регулярной сетке $1 \times 1^\circ$ [Compo et al., 2011; Slivinski et al., 2019] с разрешением, недостаточным для вычисления пространственно-дифференцированных трендов изменения климата на уровне ландшафтно-климатических районов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К основным факторам, корректирующим зональный режим хода метеорологических процессов в горно-равнинной Адыгее, относятся: экранирующая роль Большого Кавказа в переносе воздушных масс, процесс предвосхождения воздушных масс перед горным сооружением, влияние Черноморской депрессии, флуктуация положения бореального климатологического фронта, процессы циркуляции и динамической трансформации воздушных масс и перераспределение метеоэлементов в рельефе.

В результате взаимодействия перечисленных факторов создается сложное пространственно-временное климатическое поле. В этих условиях выявление пространственных единиц климата — климатических ниш ландшафтов — в первую очередь связано с выделением границ территорий с выраженным влиянием континентального, морского воздуха и высотной поясности.

Выделение на Западном Кавказе зон преобладающего влияния континентального и морского воздуха производилось по типам годового хода метеоэлементов и направлению/величине градиентов температуры и осадков. Выраженность влияния морских или континентальных воздушных масс оценивалось по критериям степени континентальности климата, типам годового хода температуры и осадков, относительной влажности воздуха, режима ветра [Варшанина, Мумусов, 2005; Kostianoy, Serykh, 2020]. В результате на Северо-Западном Кавказе и территории Адыгеи выделены зоны преобладания фактора циркуляции и фактора динамической трансформации воздушных масс (рис. 1).

В этих зонах в Адыгее выявлены два сектора (I.1 и I.3) преимущественного влияния умеренно-континентального, морского воздуха и сектор (I.2) их совместного влияния.

В секторе I.1 горизонтальные и вертикальные градиенты основных метеорологических элементов невелики, т. к. равнинная деятельная поверхность определяет относительно слабую трансформацию движущихся воздушных масс. В зоне циркуляции в соответствии с увеличением абсолютной высоты с северо-северо-запада на юго-юго-восток и нарастания влияния подстилающей поверхности выделено 3 высотных пояса: равнинный, предгорный и низкогорный. Разделяющие их климаторазделы фиксируются по резкому изменению величины/направления градиентов температуры/осадков (рис. 2).

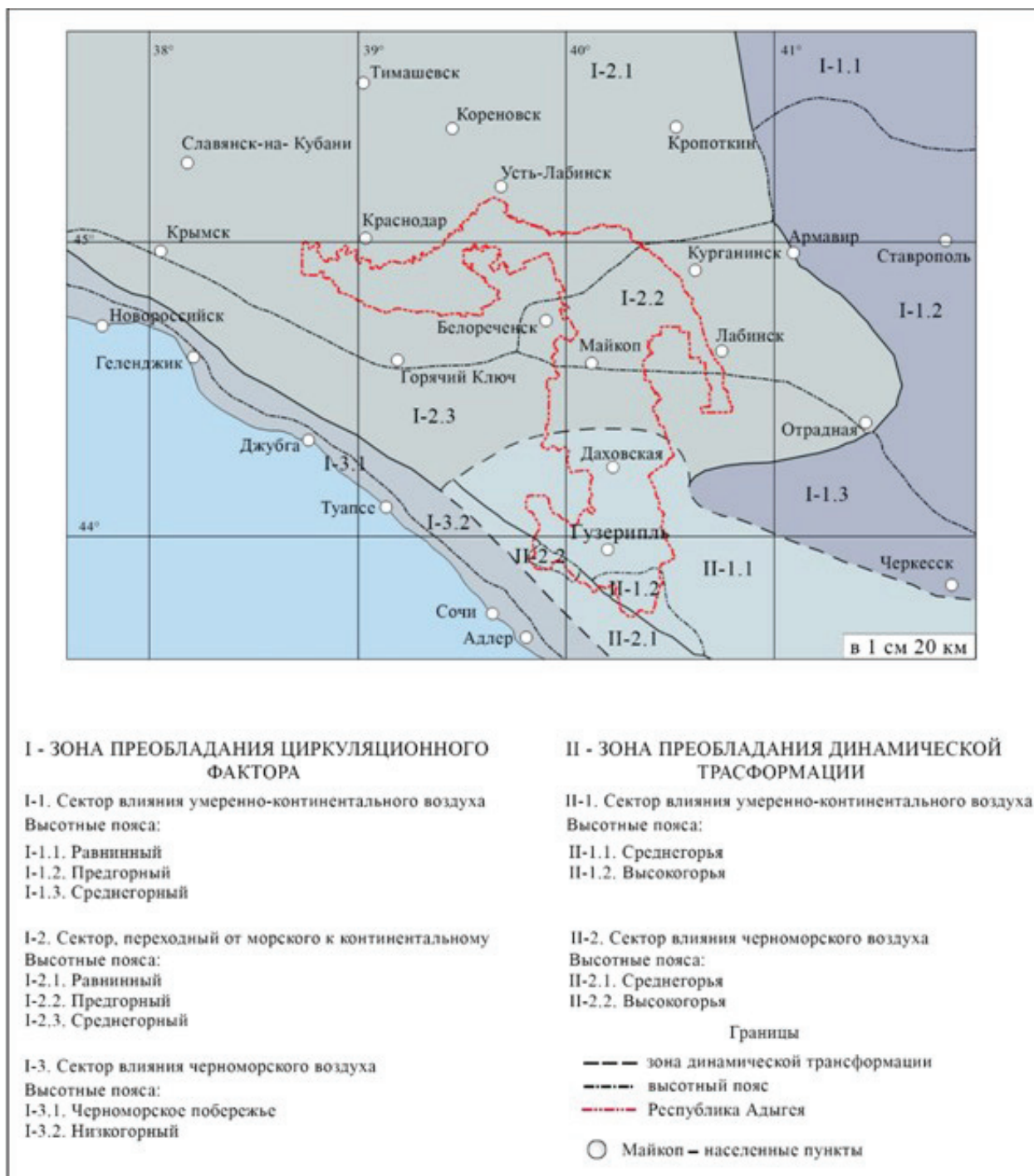


Рис. 1. Климатическое зонирование Краснодарского края и Республики Адыгея
 Fig. 1. Climatic zoning of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea

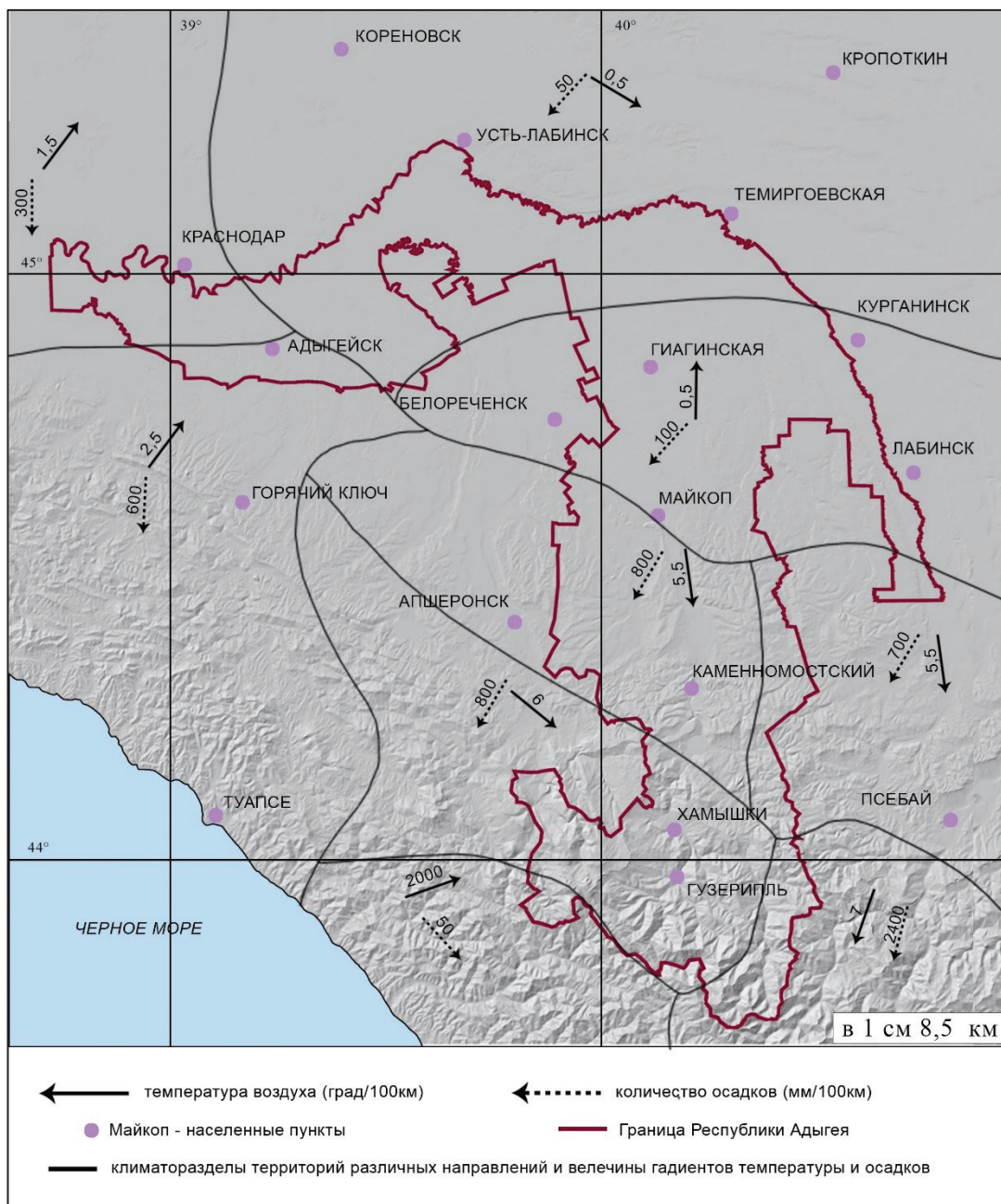


Рис. 2. Климаторазделы высотных поясов территории Адыгеи
 Fig. 2. Climatological sections of high-altitude zones of the territory of Adygea

Климат этой зоны определяется атмосферной циркуляцией, сложившейся над прилегающими равнинами, но и доступен непосредственному воздействию воздушных масс с Черного моря, которые движутся перпендикулярно направлению мощного потока восходящих перед горным сооружением континентальных воздушных масс, вовлекаясь затем в процесс поднятия по горным ступеням.

В среднегорном ярусе (высота более 1000 м н.у.м.) усиливается влияние восхождения воздушных масс, обострения фронтов, прослеживается контрастность климатов противоположных экспозиций, но заметным оказывается и воздействие циркуляционных процессов над прилегающими равнинами.

В высокогорном ярусе процесс динамической трансформации воздушных масс становится основным. Циркуляция атмосферы над равнинами на его климат существенного влияния не оказывает.

На локальном уровне климатических ниш ландшафтов характерные индивидуальные черты климат приобретает с одной стороны под влиянием литологии, перераспределения фоновых климатических параметров в рельефе, мехсостава почвообразующих пород, растительности, антропогенной измененности. С другой стороны, мезоклиматические различия ландшафтов отражаются на составе растительных сообществ и на рельеф на уровне морфоскульптур. Например, в северо-восточной равнинной части республики с более сухим климатом и выпадением осадков в летнее время преимущественно в виде ливней развита овражно-балочная сеть. В западной части равнины с более влажным климатом формируется долинно-балочный рельеф.

Важным мезоклиматическим фактором формирования ландшафта является его ветровая экспозиция. Для ландшафтов равнинной и низкогорной части республики определяющей является экспозиция относительно западного воздушного потока, как основного влагонесущего. В среднегорьях основным влагонесущим является северный поток, а в высокогорьях — северный, южный и западный потоки.

Ведущим климатическим фактором в горной части республики является температура воздуха, определяющая высотно-поясное распределение компонентов ландшафта. Климатические характеристики ландшафтов в горном поясе позволяют уточнить и детализировать ареалы распространения древесных пород. Так, термическая граница произрастания дуба скального соответствует продолжительности периода с температурой выше 10° в течение 4 месяцев. Нижняя граница распространения бука соответствует коэффициенту увлажнения, равному 1, а верхняя граница — январской изотерме -3° . Произрастание бука в среднегорных лесах Адыгеи свидетельствует о количестве дней с максимальной температурой воздуха свыше 7° более 220 в году. Существование реликтовых сосновых лесов свидетельствует о том, что период с температурой воздуха свыше 0° длится более чем 275 дней в году [Гребенщиков, 1974].

Произведено ландшафтно-климатическое районирование территории с различным уровнем детализации по единицам регионального геопространства, различающимся комплексом характеристик, интерпретирующих средоформирующие климатические параметры (рис. 3). В результате выделено 9 ландшафтно-климатических мезорайонов, в которых определено 17 районов, в некоторых из них выявлены подрайоны. Дальнейшим шагом дискретизации возможно микроклиматическое районирование.

Ландшафтно-климатические пространственные единицы характеризуются в соответствии с положением в классификации. Например, Северско-Габукайский мезорайон отличается переходным от морского к континентальному климатом с преобладанием свойств морского, северо-восточным направлением в зимний период и юго-восточным направлением летом градиента температуры. Градиент осадков направлен на юг во все сезоны года. Среднегодовая температура воздуха — $10,6-10,7^{\circ}\text{C}$.

Продолжительность сезона с отрицательной температурой — менее двух месяцев. Количество осадков — 640 мм. В годовом ходе осадков два примерно равных по величине максимума: зимний (декабрь) и летний (июнь), и два минимума: основной осенний (сентябрь) и дополнительный весенний (апрель). Среднегодовая скорость ветра — $2,8-3,5$ м/с. Преобладают ветры северо-восточного и восточного направлений. Повторяемость восточных ветров в весенне-летний период значительно снижается. В формировании климата большую роль играют вторжения умеренного морского воздуха в зимнее время, связанные с активизацией Черноморской депрессии.

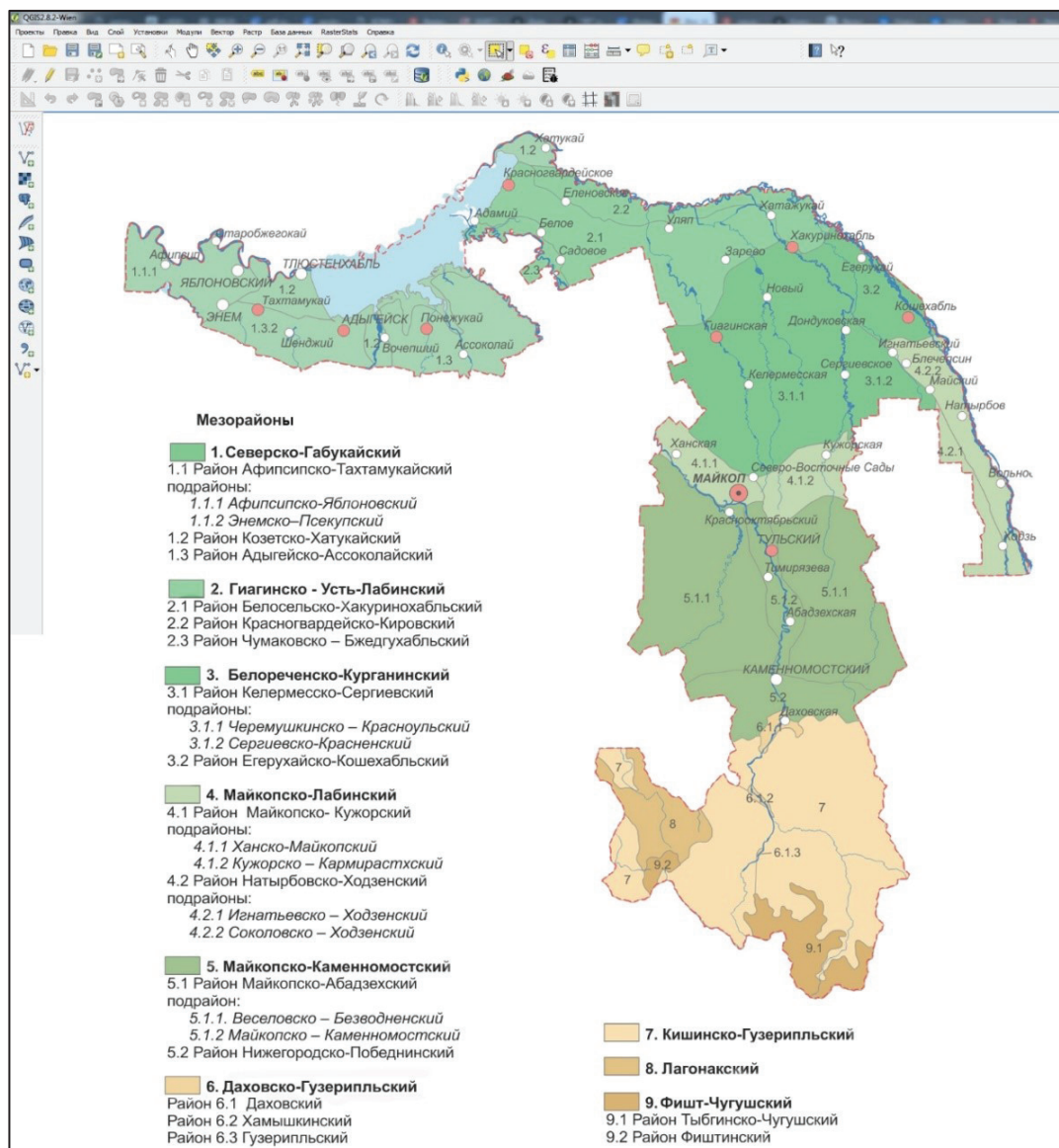


Рис. 3. Ландшафтно-климатическое районирование Адыгеи
 Fig. 3. Landscape and climatic zoning of Adygea

Входящий в мезорайон Афиписипско-Тахтамукайский район расположен в долине р. Кубани. Характеризуется наиболее высокой среднегодовой температурой воздуха в республике (10,7°). Сумма температур выше 0° составляет 4034–4071°. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 0° составляет 303 дня. Годовая сумма осадков — 643 мм. За период со среднесуточной температурой воздуха выше 0° выпадает 540 мм осадков. В ветровом режиме преобладают ветры северо-восточного направления. Отличается слабой способностью к перераспределению климатических параметров в рельефе и относительной трансформацией проходящих воздушных масс. Подстилающая поверхность способствует трансформации малоподвижных воздушных масс, главным образом посредством лучистого теплообмена земной поверхности и атмосферы и увлажнения нижних слоев воздуха.

Стратегия столь детального районирования определяется масштабом задач, поставленных в проекте ГИС «Паспорт климатической безопасности региона».

Ключевыми из этих задач для конкретного региона являются оценка и мониторинг устойчивых трендов и флуктуаций изменения климата, его негативных последствий с учетом физико-географических особенностей и социально-экономических условий. Задача выявления природных, хозяйственных объектов и районов, потенциально уязвимых с точки зрения трендов погодно-климатических изменений, связывается с пространственно-временным распределением в ландшафтно-климатических районах повторяемости и степени выраженности неблагоприятных и опасных климатических явлений.

В Адыгее к неблагоприятным погодно-климатическим воздействиям относятся суховейно-засушливые погоды, поздние заморозки, выпадение града и экстремальные осадки, сильный ветер, паводочные явления [Атлас..., 2005]. Предварительные исследования выявили в ландшафтно-климатических районах их пространственно-дифференцированное распределение и повторяемость. Например — локализация, интенсивность и характер протекания паводков имеют связь с ландшафтно-климатическими особенностями бассейнов рек. Изучены типы метеорологических ситуаций, при которых формируются паводки (табл. 1). На примере малых рек Адыгеи выявлены закономерности генетической связи полей температуры и осадков [Варшанина и др., 2007]. Термическое поле приземной атмосферы принято за ее энергетическое поле, т. к. оно обуславливает формирование барических систем, атмосферных фронтов и циркуляцию воздушных масс. Проблема вычисления нелинейной связи между ходом параметров регионального градиента температуры и степенью выраженности гидрометеорологического процесса решается с помощью трехуровневой нейросетевой модели. Разработанная модель апробирована в точечном краткосрочном постпрогнозе времени наступления и высоты паводка на 4 малых реках Адыгеи и р. Адагум (южный макросклон Б. Кавказа) [Варшанина и др., 2010; Варшанина, Хунагов, 2022]. Иллюстрацией когерентности хода параметров градиента температуры приземной атмосферы и выраженности гидрометеорологического явления в точке прогнозирования служит рис. 3. Отображение годового хода градиента температуры через его результирующее значение за каждый месяц года и построение роз годового хода результирующего ежемесячного градиента температуры в точке прогнозирования позволяет на визуальном уровне выделить паводочные годы (рис. 4). Выявленная закономерность открывает возможность долгосрочного прогнозирования изменений климатических величин на конкретный пункт с применением нейросетевых технологий. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при прогнозировании гидрометеорологических явлений и процессов в качестве предиктора возможно использование величины, отражающей динамику термического поля региона.

Исследование трендов климатических изменений традиционно находится в поле интересов климатологов [Гребенчиков, 1974; Борзенкова и др., 1976; Кобышева, Наровлянский, 1978; Исаев, 1988; Борзенкова, 1992; Панов, Спиридонова, 2019; Monier et al., 2013; Pasqui, Giuseppe, 2019]. В данном исследовании по метеоданным за период с 1961 по 1988 гг. на территории от возвышенных равнин (г. Майкоп) до среднегорий (пос. Гузерипль) выявлены различия по высотным ступеням в изменении климатических параметров не только в многолетнем, но и в годовом ходе [Атлас..., 2005; Варшанина, Митусов, 2005].

Наиболее значительные изменения температуры и осадков происходили в зимние месяцы. В этот сезон в среднем многолетнем наблюдалось снижение среднемесячного атмосферного давления, что свидетельствует об усилении влияния на климат региона циклонической деятельности, в первую очередь Черноморской депрессии. Наибольшим изменениям подвергся режим температуры и осадков на равнине, меньшие изменения произошли в горной части республики.

Табл. 1. Условия формирования паводков на реках Адыгеи (за период 1936–1999 гг.)
Table 1. Conditions of formation of floods on Adygea Rivers (for the period 1936–1999)

| Период, месяцы | Гидрометеорологические условия сезона | Условия формирования паводков | Граничные условия |
|----------------|---|---|---|
| XII–III | Максимум осадков ноябрь – декабрь, $t_{cc} \geq 0$ °С, снежный покров, ледовые явления на реках. На равнине | 1. Обильные жидкие осадки, интенсивное снеготаяние 2. Обильное снеготаяние при резком потеплении 3. Ледовые заторы на реках | $t_{cc} < 0$ °С, $\nabla t < 0.1^\circ / 100$ км или $> 3.5^\circ / 100$ км |
| IV–VI | $t_{cc} = 9 \dots 20^\circ$ на равнине и в низкогорьях, интенсивное снеготаяние в горах, летний (май – июнь) максимум осадков. Влажность почв близка к годовому максимуму | 1. Обильные жидкие осадки 2. Снеготаяние в средне- и высокогорьях | $t_{cc} < 9$ °С или > 20 °С, $\nabla t < 0.1^\circ / 100$ км или $> 2,0^\circ / 100$ км |
| VII–IX | $t_{cc} = 15 \dots 22^\circ$ на равнине и в низкогорьях. Влажность почв минимальная в году | Обильные жидкие осадки | $t_{cc} < 20^\circ$ С и > 25 °С, $\nabla t < 0.5^\circ / 100$ км или $> 0,4^\circ / 100$ км |
| X–XI | Осенне-зимний максимум осадков (XI–XII) $t_{cc} = 3 \dots 15^\circ$ на равнине и в низкогорьях | Обильные жидкие осадки | $t_{cc} < 6$ °С или $> 11,5$ °С, $\nabla t < 0.7^\circ / 100$ км или $> 2^\circ / 100$ км |

Отмеченное повышение среднегодовой температуры воздуха в регионе было обусловлено прежде всего возрастанием температуры холодного периода, особенно в месяцы с переходом через 0° . Возрастание температуры воздуха в теплый период происходило только в равнинной части и было выражено значительно слабее. В месяцы, переходные от лета к осени и от осени к зиме, отмечалось снижение среднемесячной температуры воздуха. Выраженность тенденции к понижению температуры теплого периода нарастало по высотным ступеням.

Изменение климата в Республике Адыгея исследовано также методом реанализа, в период с 1900 по 2015 гг. коллективом авторов [Kostianoy et al., 2020]. Отмечено, что изменение климата в Республике Адыгея характеризовалось устойчивым медленным потеплением с 1900 г. по 1998 г. с линейным трендом $0,020$ °С/10 лет и интенсивным потеплением в последующий период до 2015 г. ($1,2$ °С/10 лет).

Результаты реанализа в целом для территории Адыгеи подтверждают сделанный ранее вывод о том, что потепление в Адыгее обусловлено повышением температуры в холодную половину года при слабом изменении температуры теплого периода. Резкое повышение температуры воздуха за последние два десятилетия выдвигает на первый план проблему современного изменения климата и его последствий.

Выяснено, что интенсивность потепления на территории равнинной Адыгеи в десятки раз выше, чем на соседних территориях Краснодарского края, Абхазии, акватории Черного моря [Kostianoy, 2020]. Это приводит к увеличению на территории республики градиентов температуры приземной атмосферы, что неизбежно скажется на повторяемости и выраженности опасных климатических процессов.

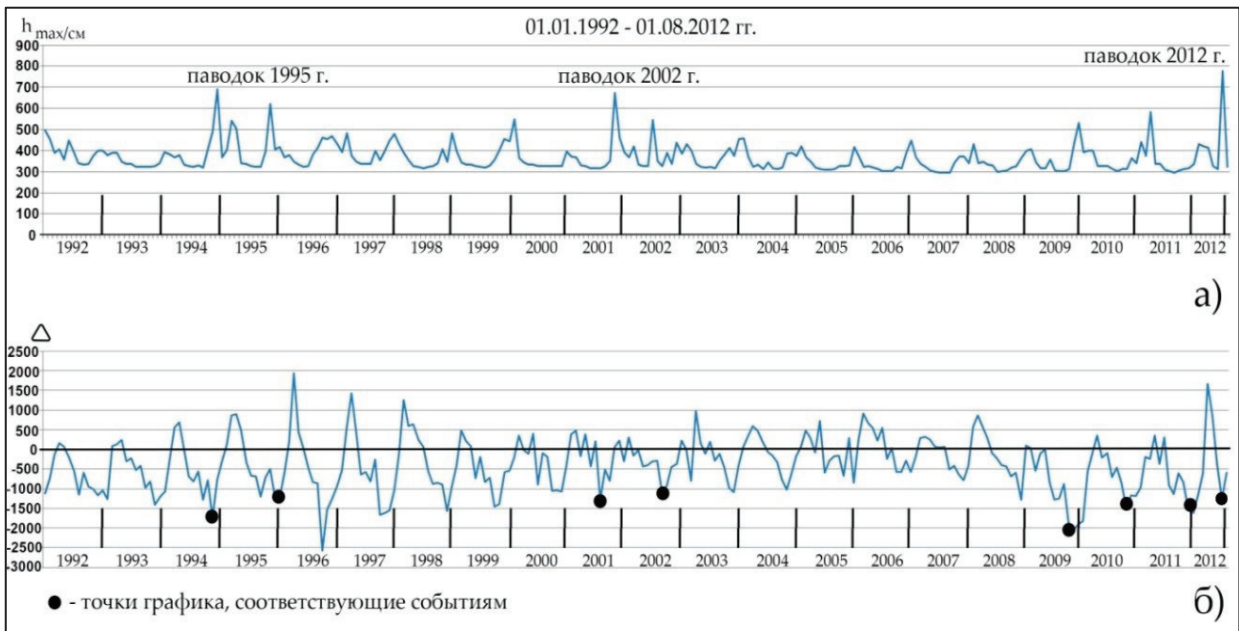


Рис. 3. Гидропост Адагум, г. Крымск. Графическое отображение в прямоугольной системе координат хода ежемесячного результирующего градиента температуры в точке прогнозирования в сопоставлении с ежемесячными максимальными уровнями воды: а) уровни воды; б) градиент температуры

Fig. 3. Adagum hydropost, Krymsk. Graphical representation of the monthly resulting temperature gradient at the projection point in the rectangular coordinate system compared to the monthly maximum water levels: a) water levels; b) temperature gradient

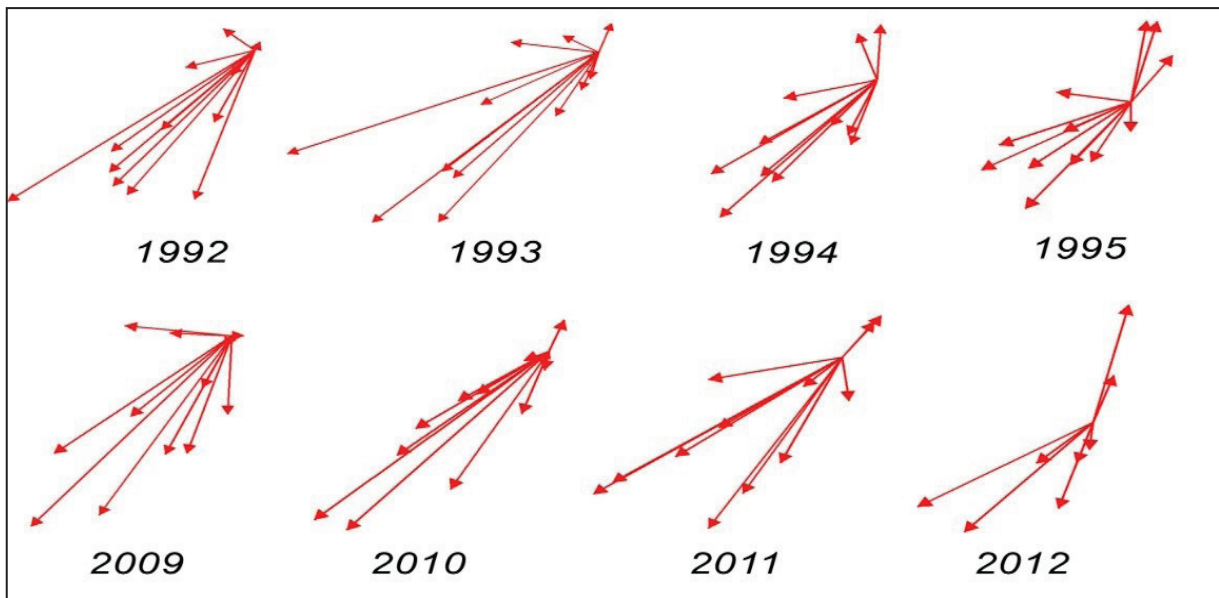


Рис. 4. Розы результирующих ежемесячных градиентов температуры в точке гидропост р. Адагум. Катастрофические паводки в 1995 и 2012 гг.

Fig. 4. Roses of the resulting monthly temperature gradients at the point of the Adagum River gauging station. Catastrophic floods in 1995 and 2012

ВЫВОДЫ

Произведенные фактологические исследования и их картографическое отображение позволяют определить оптимальную структуру данных ГИС «Паспорт климатической безопасности Адыгеи».

По пространственно-дифференцированному сочетанию факторов, корректирующих зональный режим хода метеорологических процессов на Северо-Западном Кавказе, в горно-равнинной Адыгее определено положение ландшафтно-климатических районов.

Относительно ландшафтно-климатических районов выявлены различия как в изменении климатических параметров в многолетнем и в годовом ходе, так и в повторяемости и степени выраженности опасных и неблагоприятных гидрометеорологических процессов.

Базовыми пространственными единицами ГИС определены идентифицированные ландшафтно-климатические районы. Относительно этих пространственных единиц накапливаются данные по повторяемости и выраженности опасных и неблагоприятных гидрометеорологических процессов в координированных точках их проявления. Нейросетевым модулем ГИС [Варшанина и др., 2010] по этим данным производится прогнозирование неблагоприятных погодно-климатических процессов в точке их проявления различной заблаговременности (краткосрочное, на сезон, на год). Данные закономерной согласованности хода параметров градиентного поля приземной температуры с ходом параметров выраженности прогнозируемого погодно-климатического явления на долгих периодах позволяют производить долгосрочное прогнозирование и упреждающе реагировать на предстоящие вызовы климатической системы региона, обеспечивая выполнение тех функций, которым предназначена ГИС «Паспорт климатической безопасности Адыгеи».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аргучинцева А.А. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2007. 105 с.

Атлас Республики Адыгея. Майкоп – М.: Ассоциированный картографический центр, 2005. 79 с.

Борзенкова И.И. Изменение климата в кайнозое. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 247 с.

Борзенкова И.И., Винников К.Я., Спирина Л.П., Стехновский Д.И. Изменение температуры воздуха Северного полушария за период с 1881–1975 гг. Метеорология и гидрология, 1976. № 7. С. 27–35.

Варшанина Т.П., Митусов Д.В. Климатические ресурсы ландшафтов Республики Адыгея. Майкоп: Издательство Адыгейского государственного университета, 2005. 237 с.

Варшанина Т.П., Митусов Д.В., Плисенко О.А., Стародуб И.В. Нейросетевая модель прогноза паводков на малых реках Адыгеи. Известия РАН. Серия географическая, 2007. № 6. С. 87–93.

Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Стародуб И.В. Способ прогнозирования времени наступления и уровня паводка. Патент РФ № 2480825, 2010. 15 с.

Варшанина Т.П., Хунагов Р.Д., Коробков В.Н. Информативность геоинформационной вычислительной визуализации процессов формирования природных объектов. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 508–522. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-508-522.

Гребеничиков О.С. Опыт климатической характеристики основных растительных формаций Кавказа. Ботанический журнал, 1974. Т. 59. № 2. С. 161–173.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.

Дегтярев А.С., Драбенко В.А. Статистические методы обработки метеорологической информации. СПб: Андреевский издательский дом, 2015. 225 с.

Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Издательство Московского университета, 1988. 248 с.

Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 296 с.

Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Климатические изменения поля приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе (1960–2017). Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2019. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-2-66-73.

Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. М.: Издательство Московского университета, 2001. 528 с.

Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D., Matsui N., Allan R.J., Yin X., Gleason B.E., Vose R.S., Rutledge G., Bessemoulin P., Brönnimann S., Brunet M., Crouthamel R.I., Grant A.N., Groisman P.Y., Jones P.D., Kruk M., Kruger A.C., Marshall G.J., Maugeri M., Mok H.Y., Nordli O., Ross I.F., Trigo R.M., Wang X.L., Woodruff S.D., Worley S.J. The twentieth century reanalysis project. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011. No. 137 (654). P. 1–28. DOI: 10.1002/qj.776.

Kostianoy A.G., Serykh I.V., Ekba Ya.A., Kravchenko P.N. Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea. Ecologica Montenegrina, 2017. V. 14. P. 21–29.

Kostianoy A.G., Serykh I.V., Lebedev S.A., Kostianaia E.A., Varshanina T.P. Regional climate change in the Republic of Adygea. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2020. P. 311–358.

Kostianoy A.G., Serykh I.V., Lebedev S.A., Kostianaia E.A., Varshanina T.P. General characteristics of the climate in the Republic of Adygea. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2020. P. 289–310.

Monier E., Sokolov A.P., Schlosser C.A., Gao X., Scott J. Possible climate change over Northern Eurasia. Austin Convention Center, 2013. 9 p.

Pasqui M., Giuseppe E. Climate change, future warming, and adaptation in Europe. Rome: Institute of Biometeorology — National Research Council (CNR–IBIMET), 2019. DOI: 10.1093/af/vfy036.

Slivinski L., Compo G., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2019. DOI: 10.1002/qj.3598.

Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H. Technical Summary. Climate Change: The Physical Science Basis. Cambridge, UK–New York, USA, 2007. 91 p.

REFERENCES

Arguchintseva A.A. Methods of statistical processing and analysis of hydrometeorological observations. Irkutsk: Irkutsk State University, 2007. 105 p. (in Russian).

Atlas of the Republic of Adygea. Maykop – Moscow: Associated cartographic center, 2005. 79 p. (in Russian).

Borzenkova I.I. Climate change in Cenozoic. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 247 p. (in Russian).

Borzenkova I.I., Vinnikov K.Y., Spirina L.P., Stehnovsky D.I. Change in air temperature of the Northern hemisphere from 1881 to 1975. Russian Meteorology and Hydrology, 1976. No. 7. P. 27–35 (in Russian).

Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D., Matsui N., Allan R.J., Yin X., Gleason B.E., Vose R.S., Rutledge G., Bessemoulin P., Brönnimann S., Brunet M., Crouthamel R.I., Grant A.N., Groisman P.Y., Jones P.D., Kruk M., Kruger A.C., Marshall G.J., Maugeri M., Mok H.Y., Nordli O., Ross I.F., Trigo R.M., Wang X.L., Woodruff S.D., Worley S.J. The twentieth century reanalysis project. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011. No. 137 (654). P. 1–28. DOI: 10.1002/qj.776.

Degtyarev A.S., Drabenko V.A. Statistical methods of processing meteorological information. Saint-Petersburg: Andreevsky publishing house, 2015. 225 p. (in Russian).

Grebenshikov O.S. Experience of climatic characteristics of the main plant formations of the Caucasus. Botanical Journal, 1974. V. 59. No. 2. P. 161–173 (in Russian).

Gruza G.V., Rankova E.Y. Observed and expected climate changes in Russia: Air temperature. Obninsk: Federal state educational institution, 2012. 194 p. (in Russian).

Isaev A.A. Statistics in meteorology and climatology. Moscow: Moscow University Press, 1988. 248 p. (in Russian).

Khromov S.P., Petrosyants M.A. Meteorology and climatology. Moscow: Moscow University Press, 2001. 528 p. (in Russian).

Kobysheva N.V., Narovlyanskii G.Y. Climatological processing of meteorological information. Hydrometeorological publishing house, 1978. 296 p. (in Russian).

Kostianoy A.G., Serykh I.V., Ekba Ya.A., Kravchenko P.N. Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea. Ecologica Montenegrina, 2017. V. 14. P. 21–29.

Kostianoy A.G., Serykh I.V., Lebedev S.A., Kostianaia E.A., Varshanina T.P. Regional climate change in the Republic of Adygea. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2020. P. 311–358.

Kostianoy A.G., Serykh I.V., Lebedev S.A., Kostianaia E.A., Varshanina T.P. General Characteristics of the Climate in the Republic of Adygea. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2020. P. 289–310.

Monier E., Sokolov A.P., Schlosser C.A., Gao X., Scott J. Possible climate change over Northern Eurasia. Austin Convention Center, 2013. 9 p.

Panov B.N., Spiridonova E.O. Climatic changes of the surface atmospheric pressure field in the Azov-Black Sea region (1960–2017). Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science (News of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural Sciences), 2019 (in Russian). DOI: 10.23683/0321-3005-2019-2-66-73.

Pasqui M., Giuseppe E. Climate change, future warming, and adaptation in Europe. Rome: Institute of Biometeorology — National Research Council (CNR-IBIMET), 2019. DOI: 10.1093/af/vfy036.

Slivinski L., Compo G., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2019. DOI: 10.1002/qj.3598.

Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H. Technical Summary. *Climate Change: The Physical Science Basis*. Cambridge, UK–New York, USA, 2007. 91 p.

Varshanina T.P., Khunagov R.D., Korobov V.N. Informativity of geoinformational computing visualization of the processes of formation of natural objects. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2022. V. 28. Part 1. P. 508–522 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-508-522.

Varshanina T.P., Mitusov D.V. Climatological resources of landscapes of the Republic of Adygea. Maykop: Publishing House of Adyghe State University, 2005. 237 p. (in Russian).

Varshanina T.P., Mitusov D.V., Plisenko O.A., Starodub I.V. Neuronetwork model of flood forecasts on small rivers of Adygea. *Izvestia RAN. Seriya Geograficheskaya (News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series)*, 2007. No. 6. P. 87–93.

Varshanina T.P., Plisenko O.A., Starodub I.V. Method of forecasting the time of occurrence and level of flood. RF patent No. 2480825, 2010. 15 p.
