

Изучение климата: от А. Гумбольдта до современных прогнозов глобальных изменений

Н.Ф. Харламова,

к.г.н., доцент,

harlamovageo@rambler.ru

Алтайский государственный университет,

АКО Русского географического общества,

И.Н. Ротанова,

rotanova07@inbox.ru

к.г.н., доцент,

Алтайский государственный университет,

АКО Русского географического общества

Аннотация: А. Гумбольдт стоял в истоках формирования нового научного направления в естествознании – климатологии. Благодаря разработанному методу изолиний (изотерм) ученый впервые получил картину распределения тепла по земной поверхности; в фундаментальной работе «Космос» (1843) представил графики изменений годовой температуры воздуха по десятилетним периодам с 1756 по 1840 гг., одним из первых положив начало изучению изменчивости климата. После путешествия на Алтай в 1829 г. А. Гумбольдт способствовал открытию в Барнауле магнитно-метеорологической обсерватории, непрерывный ряд наблюдений которой с 1838 г. и до настоящего времени, в мировой климатологии является одним из наиболее длительных. В статье представлен краткий обзор изучения глобального изменения климата, развития метеорологических наблюдений в России.

Ключевые слова: А. Гумбольдт, климат, изменения климата, Алтай, Барнаул.

Изучение климата относится к вопросам, актуальность которых возрастает вместе с получением нового знания о климате и развития методов климатических исследований. Проблема глобальных изменений климата является одной из наиболее значимых в мировом масштабе. Климат оказывает существенное влияние не только на природную среду, но и, в отличие от других физико-географических факторов, имеющих преимущественно косвенное воздействие, климат влияет на человека, живые организмы как прямой экологический фактор, создавая условия для жизни и деятельности [27].

Александр Гумбольдт стоял в истоках формирования нового научного направления в естествознании – климатологии. Незаурядный натуралист и энциклопедист, он по праву признан основателем географии в общенаучном значении и ее ветвей – научных дисциплин, получивших значительное развитие, среди которых: климатология, физическая география, ландшафтоведение, картография, геофизика и др., а также основоположником ряда методов исследований в науках о Земле [12].

А. Гумбольдту удалось систематизировать и свести воедино знания о строении Вселенной, возникновении нашей планеты, отдельных континентах и морях, формировании земной коры и земной атмосферы, влиянии почвенных и климатических условий на органическую жизнь и др. [22].

Изучению климата А. Гумбольдт уделял большое внимание. Известна серия его работ по температуре воздуха: «Линия изотерм» (1817), «О нижних границах вечного снега»

(1820), «О температуре различных частей жаркого пояса» (1826), «О причинах различия температуры на земном шаре» (1827) [10]. Результаты исследований позволили получить картину распределения тепла по земной поверхности благодаря разработанному ученым методу изолиний (изотерм).

Применение картографического метода изотерм в климатологии имело большое значение, так как с его помощью стало возможным выявление основных пространственных закономерностей в распределении метеорологических величин. При анализе в своей фундаментальной работе «Космос» (1843) карты среднегодовых изотерм Северного полушария [34] А. Гумбольдт первым отметил влияние морских течений на распределение температуры воздуха. По созданным картам распределения температуры и давления ученым было определено местоположение устойчивых областей повышенного и пониженного давления, выявлено влияние распределения земной суши и воды на температуру и давление воздуха, показана зависимость температуры от высоты над уровнем моря и т.п.

Закономерно осознавая значение климатических факторов для познания «физики мира», в разделах «Космоса» А. Гумбольдт представил графики, характеризующие годовой ход температуры и ее изменений по десятилетним периодам с 1756 по 1840 г., тем самым обратив внимание на важность изучения временной динамики термического режима, одним из первых положив начало изучению изменчивости климата.

Полученные выдающимся ученым знания дали стимул дальнейшему изучению климатообразующих факторов и построению первых классификаций климатов, развитых впоследствии в трудах А.И. Воейкова (обоснование геофизической природы и закономерностей климата) и его последователей: А.А. Каминского (исследования ветрового режима и влагооборота), Л.С. Берга (исследования в области палеоклиматологии, биоклиматологии, климатического зонирования) и др. [13].

Исследования направленности климатических изменений основываются на анализе долговременных рядов климатических переменных (температура воздуха и почвы, атмосферные осадки и др.), основой которых являются наблюдения на метеорологических станциях (ГМС). Культурные преобразования, произошедшие в первой четверти XVIII в., подготовили почву для создания в России Академии наук, одним из направлений деятельности которой, начиная с 1 декабря 1725 г., явилась организация под руководством академика Ф.Х. Майера инструментальных метеорологических наблюдений на формирующейся сети метеостанций. Большое внимание вопросам формирования и организации гидрометеорологической сети, научных основ метеорологической науки и метеорологического приборостроения уделял выдающийся русский ученый М.В. Ломоносов. В начале XIX в. по инициативе академика А.Я. Купфера в России была организована гидрометеорологическая служба. Его начинания поддержали выдающиеся полярные исследователи Ф. Литке, Ф. Врангель, М. Рейнеке, а также известные иностранные ученые А. Гумбольдт и Д. Ф. Араго [13, 21].

Тринадцатого (25) апреля 1834 г., согласно «высочайшему соизволению», имевшему силу закона, подписанному императором Николаем I, в Санкт-Петербурге при Корпусе горных инженеров были учреждены Нормальная обсерватория и ряд ее филиалов. С этого времени сеть метеостанций России в Екатеринбурге, Барнауле, Нерчинске, Златоусте, Луганске, Богословске и Колывани (в совр. *Новосибирской обл.*) начала производить регулярные метеорологические и магнитные наблюдения по единому руководству.

В 1849 г. на базе Нормальной обсерватории создается Главная физическая обсерватория (ныне ГГО им. А. И. Воейкова) в целях развития регулярной сети наблюдений, печатания и распространения материалов наблюдений, создания метеорологического приборостроения и системы поверки приборов [21].

Современная метеорологическая служба России датой своего основания считает 21 июня 1921 г., когда В. Ленин подписал декрет Совета Народных Комиссаров "Об

организации единой метеорологической службы в РСФСР". К 1923 г. на территории России действовало уже 673 станции. 7 августа 1929 г. было принято постановление о создании Единой гидрометеорологической службы СССР. 9 февраля 1932 г. произошло слияние гидрометеорологических комитетов СССР и РСФСР, а 23 февраля 1933 г. принято постановление об организации Центрального управления Единой гидрометеорологической службы СССР (ЦУЕГМС) при Народном комиссариате земледелия СССР. Но уже 14 ноября 1936 г. было принято новое постановление об организации Главного управления Гидрометеорологической службы при Совете Народных Комиссаров СССР (ГУГМС при СНК СССР).

В послевоенное время помимо восстановления, расширения и укрепления наблюдательных сетей происходило укрепление научной и производственной базы службы. Так, в 1950-е годы создаются пять новых региональных научно-исследовательских институтов – в Киеве (УкрНИГМИ), Ташкенте (САНИГМИ), Владивостоке (ДВНИГМИ), Тбилиси (ЗакНИГМИ) и Алма-Ате (КазНИГМИ). В 1960-е гг. в службу был передан еще ряд институтов: из Академии наук – ИПГ, ВГИ, ГКЦ, из Главсевморпути – ААНИИ с сетью полярных станций, дрейфующими станциями «Северный полюс» и полярными радиометеоцентрами, с антарктической экспедицией и др. В Обнинске была создана мощная научно-экспериментальная база службы, включившая такие институты, как ИЭМ (ныне НПО «Тайфун»), ВНИИГМИ-МЦД, ВНИИСХМ, Центральное конструкторское бюро. Был образован Западно-Сибирский НИГМИ в Новосибирске [23].

В 60-80-е годы XX в. огромное развитие получили спутниковые методы исследования в области метеорологии, гидрологии, океанологии, изучения природных ресурсов. Для координации этих исследований был создан ГосНИЦИПР (Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов), в настоящее время эту деятельность осуществляет НПЦ «Планета». В конце 1960-х гг. в СССР создана специальная космическая система, состоящая из нескольких искусственных метеорологических спутников Земли, позволяющая получать данные об облачном и снежном покрове, распределении льда на морях и океанах, о температуре подстилающей поверхности по всему земному шару.

Внедрение вычислительной техники, численных методов анализа и прогноза погоды, автоматизированных систем сбора, обработки, представления и распространения информации в корне преобразовали технологические процессы, используемые Гидрометеорологической службой СССР (России). Она пополнилась первоклассными научно-исследовательскими судами, самолетами-лабораториями, на базе которых проводились научные исследования в разных областях гидрометеорологии, и выполнялся ряд работ оперативно-производственного характера (наблюдения в точке Чарли, вековые разрезы, гамма-съемка снежного покрова и др.). В 1970-е гг. перед Гидрометслужбой была поставлена новая важная государственная задача: создание системы мониторинга загрязнения природной среды [21].

Признанием возросшей роли Гидрометеослужбы в жизнеобеспечении страны явилось преобразование в 1978 г. ГУГМС в Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР (Госкомгидромет СССР), который был отнесен к общесоюзным государственным комитетам, а его председатель автоматически становился членом Правительства СССР. После распада СССР Гидрометеорологическая служба России была образована в составе Минэкологии России. В настоящее время Гидрометслужба России функционирует как самостоятельная Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [21].

Тенденции к развитию гидрометеорологических служб мира и потребности государства в защите населения от опасных атмосферных процессов и явлений (смерчи, ураганы и т. п.) требовали ускоренного развития методов прогнозирования, а также систем раннего предупреждения на базе метеорологических радиолокаторов

(МРЛ). Прогностическая деятельность всегда была одним из главных приоритетов работы Гидрометслужбы. Началом работы службы погоды в России считается 1 января (н. с.) 1872 г., когда ГФО выпустила первый синоптический бюллетень. В настоящее время основу прогностической деятельности составляют гидродинамические модели и технологии численных прогнозов.

После установки в 1996 г. первого в истории Гидрометслужбы России суперкомпьютера «Крэй» широкое развитие получили новые прогностические технологии. Это позволило существенно улучшить оправдываемость и увеличить заблаговременность прогнозов погоды. В настоящее время Росгидромет решает широкий спектр сложных задач в области обработки гидрометеорологических данных, моделирования и оперативного прогнозирования процессов в атмосфере и океане, требующих больших вычислительных ресурсов и высокой эффективности их использования. В 2013 г. наземная метеорологическая сеть Росгидромета включала более 1766 пунктов метеорологических наблюдений. Сорок четыре станции ведут наблюдения на протяжении ста и более лет, в том числе ГМС Барнаул.

Дистанционные средства измерений наземного базирования (метеорологические радиолокаторы, лидары, радиометры, содары, метеорные радиолокационные станции и др.) позволяют регистрировать газовые и аэрозольные компоненты атмосферы, термодинамические (температура, давление, плотность) и кинематические характеристики (направление и скорость ветра) от самых нижних ее слоев до термосферы, а также характеристики облаков, осадков и многое другое.

Особую роль играют доплеровские МРЛ (ДМРЛ), позволяющие измерять скорость воздушного потока по смещению гидрометеоров. Оптические локаторы – лидары – используются в основном в исследовательских целях: для определения скорости и направления воздушных потоков, концентрации газовых компонентов атмосферы, в том числе озона, характеристик аэрозоля, верхней и нижней границы облаков, их водности, измерения температуры атмосферы (вплоть до высоты 100 км), для контроля загрязнения воздушного бассейна и других характеристик атмосферы.

Системы, которые используются для дистанционного измерения структуры вертикальной турбулентности и профиля ветра в нижних слоях атмосферы, называются содарами. Типичные области применения содаров – это оперативный мониторинг ветра, анализ распространения звука, контроль вихревых потоков от самолетов, выявление температурных инверсий в пограничном слое атмосферы.

Большую роль в жизни современного высокотехнологичного общества «космическая погода», под которой понимают совокупность явлений на Солнце, в верхней атмосфере, околоземном космическом пространстве. Развитие передовых космических технологий позволяет осуществлять сбор большинства необходимых данных об окружающей среде более эффективно и с меньшими затратами, более надежно и регулярно. Спутниковые наблюдения нередко являются наиболее полным и зачастую единственными источниками данных, поэтому дальнейшее развитие и совершенствование космических систем дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ) определяет перспективу гидрометеобеспечения. На основе информации, поступающей с зарубежных и отечественных спутников наблюдения Земли в ведущем спутниковом центре Росгидромета (ФГБУ «НИЦ «Планета») за сутки выпускается более 120 видов продукции [21].

Начиная с 1970-х гг. Гидрометслужба стала одним из ведущих ведомств страны по новой проблеме – проблеме глобального изменения климата. Российские исследователи [20] для характеристики климата применяют статистическое описание в терминах средних, экстремумов, показателей изменчивости соответствующих величин явлений за выбранный интервал времени. Все эти *дескриптивные статистики* называются *климатическими переменными*. Изменения климата чаще всего оцениваются *по характеру*

климатической тенденции (*trend*) изменения на определенном отрезке времени в виде линейных трендов [24, 9, 16, 17].

При оценке линейного тренда предполагается, что значение климатической переменной x линейно меняется со временем t , а также подвержено влиянию факторов ненаправленной изменчивости:

$$x(t) = a + bt + \zeta(t),$$

где a и b – константы, а $\zeta(t)$ – независимые реализации случайной величины ζ с дисперсией D .

Для количественной оценки тренда, т.е. определения его значимости (вероятности существования), величины интенсивности и направленности изменений используются параметрические критерии, описание тренда при этом сводится к оценке a и b , а проверка вероятности его существования – к проверке гипотезы ($a_1 = 0$). В качестве меры интенсивности климатических изменений за рассматриваемый интервал времени используется коэффициент линейного тренда, характеризующий среднюю скорость «линейных» изменений климатической переменной на рассматриваемом интервале времени. В качестве меры существенности тренда приводится доля дисперсии климатической переменной, объясняемая трендом, выраженная в процентах от полной дисперсии климатической переменной за рассматриваемый интервал времени. Для оценки статистической значимости тренда используется 5% уровень значимости.

В СССР проблема изменения глобального климата привлекла внимание в 1961-1962 гг. Ее изучением начинает заниматься М.И. Будыко с группой сотрудников ГГО им. А.И. Воейкова [3]. В 1975 г. для более широкого проведения этих исследований в Государственном гидрологическом институте, куда перешел М.И. Будыко, а позднее – О.А. Дроздов, И.И. Борзенкова и др., был создан Отдел исследований изменений климата.

Поскольку перспектива изменения глобального климата имеет значение для всех стран мира, в его изучении значительную роль играло международное научное сотрудничество. Зарубежными исследователями в 70-х годах XX в. высказывалось мнение, что вероятность заметного изменения климата под влиянием хозяйственной деятельности до конца XX в. невелика. Однако вскоре выходит работа М.И. Будыко (1972) [2], в которой было показано, что до середины XXI в. главное влияние на климат окажет увеличение массы CO_2 в атмосфере, которое приведет к повышению средней температуры воздуха у земной поверхности. Это был первый реалистический прогноз средней глобальной температуры воздуха на основе энергобалансовой модели [5].

Научные доказательства антропогенного воздействия на климат Земли впервые были представлены международной общественности в 1979 г. на Первой всемирной конференции по климату в Женеве (Будыко, 1980) [4], по итогам которой была учреждена Всемирная климатическая программа (ВКП), а также Всемирная программа исследований климата (ВПИК).

Одна из первых попыток оценки будущих глобальных климатических изменений на основе метода экспертных оценок была предпринята в США в 1978 г., в СССР разработка сценариев климата начинается в 1982 г. в ГГО им. А.И. Воейкова [1]. В 1988 г. ВМО создает Межправительственную комиссию по проблемам изменения климата (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) и Программу ООН по охране окружающей среды (ЮНЕП), которые в этом же году создали Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК) с целью получения максимально достоверных и авторитетных данных, связанных с изменением климата. С этого момента исследование изменений климата, обусловленных нарастающими темпами глобального потепления и зависимости многих отраслей экономики как высокоразвитых, так и развивающихся государств мира, уровня и качества жизни населения, биоразнообразия Земли, становится все более актуальным. Проблема современных изменений климата выдвинулась в первый ряд глобальных вызовов и приоритетов международной повестки

дня конца XX - начала XXI вв., что позволяет классифицировать ее как глобальную экологическую проблему [15].

Для этого периода характерно интенсивное международное сотрудничество, применение новейших математических и геоинформационных методов, современной вычислительной техники, позволивших разрабатывать прогнозы на основе разнообразных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Разворачивается дискуссия о естественном и антропогенном факторах современных и ожидаемых изменений климата. Появляются многочисленные работы, представляющие прогноз, в основном, приземной глобальной температуры воздуха, первоначально с использованием, так называемых, аналогов климата будущего, т.е. эмпирического подхода [6, 7]; различные сценарии будущих климатических условий – гипотетические и построенные по моделям общей циркуляции атмосферы, либо основанные на палеоклиматических реконструкциях [19, 14].

Наибольшей концентрацией усилий многих ученых, работающих в данной области науки, являются отчеты в виде Докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 1990; IPCC, 1995; IPCC, 2001; IPCC, 2007; IPCC, 2013, 2014). Глобально усредненные данные о температуре приземного воздуха, рассчитанные на основе линейного тренда, свидетельствуют о ее повышении за период 1880-2012 г. на 0,85 °C [29]. В России публикуются «Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» [18] и «Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» [8]. В соответствии с данными Второго доклада (2014), средняя температура приземного воздуха на территории России, начиная с середины 1970-х годов, повышается со средней скоростью 0,43°C/10 лет, что более чем в 2,5 раза превышает общемировые темпы. В последнее 10-летие наблюдается определенное замедление (пауза) глобального потепления: глобальная температура колеблется на уровне достигнутых высоких значений. Однако начало XXI в. (в среднем по земному шару) остается самым теплым 12-летием за период инструментальных наблюдений. Во временном ряде среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха, осредненных по территории России, как и в глобальных временных рядах, период после 1976 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением.

Учеными Алтайского государственного университета на протяжении многих лет осуществляются исследования изменчивости климата Алтайского региона, в том числе на основе данных одной из старейших в мире метеорологических станций – ГМС Барнаул. Именно А. Гумбольдт после путешествия на Алтай в 1829 г. способствовал открытию в Барнауле магнитно-метеорологической обсерватории, непрерывный ряд наблюдений которой начался в 1838 г. [28, 26, 25, 11].

Список литературы

1. Борисенков Е.П., Полозов В.В. Экспертная оценка изменений климата до конца XX - начала XXI в. // Труды ГГО, 1986. Вып. 503. С. 40-50.
2. Будыко М.И. Влияние человека на климат. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 46 с.
3. Будыко М.И. Изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 280 с.
4. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 352 с.
5. Будыко М.И. Климат конца двадцатого века // Метеорология и гидрология, 1988. № 10. С. 5-24.
6. Будыко М.И. Эмпирическая оценка предстоящих изменений климата // Метеорология и гидрология, 1989. № 10. С. 5-14.
7. Будыко М.И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата // Метеорология и гидрология, 1991. № 4. С. 39-50.

8. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М.: Росгидромет, 2014. 94 с.
9. Денисов П.П. Методика оценки тенденций в ходе речного стока // Метеорология и гидрология, 1975. № 4. С. 101-104.
10. Джеймс П., Мартин Дж. Все возможные миры: Пер. с англ. / Под ред. и с послесл. А.Г. Исаченко. М.: Прогресс, 1988.
11. Изменение климата и биоразнообразие российской части Алтае-Саянского экорегиона / И.А. Артемов, Т.А. Бляхарчук, Н.И. Быков, О.В. Останин, Н.Ф. Харламова и др. / под ред. Н.Н. Михайлова. Красноярск, 2013. 328 с.
12. Исаченко А.Г. Развитие географических идей. М.: Мысль, 1971. 416 с.
13. Капустин В.Г. О роли Александра Гумбольдта в развитии географии // Александр Гумбольдт и исследования Урала: Материалы российско-германской конференции, Екатеринбург, 20-21 июня 2002 г. / Урал. гос. пед. ун-т. Екатеринбург, 2002. С. 16 – 19.
14. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 351 с.
15. Климатическая доктрина Российской Федерации. Утверждена распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп. URL: www.kremlin.ru/acts/6365
16. Леонов Е.А., Леонов В.Е. Метод определения параметров трендов гидрологических рядов // Сборник по гидрологии ГГИ, 1987. №19. С. 88-94.
17. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / колл. монография. Научн. ред. С.М. Семенов. М.: Росгидромет, 2012. 510 с.
18. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Изменение климата / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Росгидромет, 2008. Т. I. 228 с.
19. Предстоящие изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 271 с.
20. Ранькова Э.Я. Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений / Э.Я. Ранькова: автореферат дисс. на соискание уч. ст. д-ра физ.-мат. наук. М., 2005. 66 с.
21. Росгидромет: погода для всех. Наблюдаем, исследуем, информируем / под ред. А.В. Фролова. М.: ООО «Издательство «СК-Столица», 2013. 351.
22. Ротанова И.Н. Развитие научного наследия А. Гумбольдта в современных науках о Земле // Гумбольдтские чтения «Диалог России и Германии: история и современность»: сборник материалов Международной научно-технической конференции. Вып. VIII / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова / сост. Д. В. Порошин. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. С. 87-92.
23. Сайт Росгидромета. URL: <http://www.meteorf.ru/special/about/history/ALL/>
24. Современное изменение климата. Л. Гидрометеиздат, 1966. 263 с.
25. Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона в условиях изменения климата. Стратегия адаптации / Мандыч А.Ф., Яшина Т.В., Артемов И.А. и др. Проект ПРООН/МКИ "Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона". Красноярск, 2012. 62 с.
26. Харламова, Н.Ф. Климат и сезонная ритмика природы Барнаула: монография, изд. 2-е, перераб. и доп. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 110 с.
27. Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона: монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 156 с.
28. Харламова Н.Ф., Ревякин В.С., Леконцев Б.А. Климат и сезонная ритмика природы Барнаула: монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2005. 144 с.
29. IPCC First Assessment Report: 1990 (FAR).
30. IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR).
31. IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR).
32. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4).

33. IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013, 2014 (AR5).
34. Kosmos I: II, h S. Entnommen ist sie der Neuauflage (Eichborn 2004) von Dr. Heinrich Berghaus Atlas zu Humboldts Lebenswerk.