

ГЕОДИНАМИКА КАК ОДНА ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

Е.М. Шумакова

Институт водных проблем РАН, spectr56@gmail.com

Анализируются температурные и геофизические аномалии, наблюдаемые вблизи плотины одной из волжских ГЭС и в бассейне Волги. Изучается связь расположения участков повышенной скорости увеличения зимней температуры воздуха с локализацией крупных разломов, районов современной геодинамической и сейсмической активности на территории Русской платформы. Рассматривается гипотеза о связи повышения зимней температуры с геодинамической активностью территорий. Рассматриваются также закономерности формирования тепловых аномалий в сейсмически активных районах при участии радона; предложено применение данных закономерностей в разломных зонах с меньшей геодинамической активностью.

Ключевые слова: температурная аномалия, геодинамическая активность, разлом, геофизические аномалии, атмосферные предвестники землетрясений, радон.

GEODYNAMICS AS ONE OF THE REASONS FOR THE INCREASE IN WINTER AIR TEMPERATURE IN THE VOLGA RIVER BASIN

E.M. Shumakova

Water Problems Institute of RAS

The paper analyzes temperature and geophysical anomalies observed near one of the Volga River hydropower plants and in the whole Volga basin. We studied the correlation of places of increased growth rate of winter temperatures with places of deep faults, places of modern geodynamic or seismic activity on the territory of the Russian platform. The hypothesis that the growth of winter air temperatures is connected with region geodynamics is discussed; regularities of temperature anomalies formation in seismic active areas involving radon are considered; application of these regularities in fault zones with low geodynamic activity is offered.

Keywords: temperature anomaly, geodynamic activity, fault, geophysical anomalies, atmospheric earthquake predictor, radon.

Введение

Планетарные процессы, по-видимому, более значимы для проявлений различных геофизических полей, чем это представляется в начале узкоспециализированных исследований. Исследователи различных направлений приходят к пониманию и обоснованию единства геофизической среды, взаимосвязи процессов во всех оболочках Земли, экспериментальному обоснованию корреляций и созданию теоретических и модельных основ. Существуют многочисленные примеры взаимодействия процессов в земной коре и в атмосфере, которые относятся в основном к экстремальным событиям. Аномалии и закономерности проявления атмосферных процессов в геодинамически активных районах часто пытаются

использовать в качестве возможных предвестников землетрясений, так как проблема прогноза сильных землетрясений актуальна и не решена окончательно. Вероятно, наиболее известно явление формирования линейных облачных аномалий (ЛОА) или грозовых облаков, трассирующих разломы в период их активности.

Создана методология анализа влияния изменчивости атмосферной циркуляции атмосферы на экзогенные процессы земной коры и сейсмичность Земли [2, 3], связывающая возникновение сильных землетрясений с изменчивостью атмосферных процессов, которые влияют на экзогенные процессы и сейсмичность, процессы в земной коре.

С 1979 г. разрабатываются направления, позволяющие определить влияние сейсмических процессов на явления в атмосфере — на формирование ЛОА [9], грозовую активность. Встречается информация о связи возникновения смерчей, торнадо с моментами активности разломов [28], приуроченности траекторий движения атмосферных вихрей к разломным зонам различного ранга [29]. Разнообразные процессы в ионосфере и магнитосфере коррелируются с моментами геодинамической активности.

Результаты, изложенные в настоящей статье, получены в ходе выполнения различных, не связанных между собой исследований. Первое из них проводилось в районе Жигулевской ГЭС — изучалось вибрационное воздействие крупного работающего гидроузла на окружающие территории [16—18]). Целью этого исследования была разработка комплексного мониторинга территории и обеспечения безаварийной эксплуатации зданий и комфортного проживания населения вблизи плотины. Тема эта весьма далека от метеорологии и климатологии. Однако в ходе исследования постоянно выяснялись факты, говорящие о формировании сложной незамкнутой природно-техногенной системы плотина — окружающая среда, в которой вибрации грунтов (геофизические процессы в поверхностных слоях грунта) лишь играют роль индикатора состояния геологической среды, роль ключевого компонента, изменения которого отражают трансформации в системе. Далеко не все компоненты системы известны и не все связи между ними изучены теоретически и/или экспериментально, а происходящие трансформации не сразу можно сформулировать. Изначально на роль главного фактора, определяющего все процессы в системе, предназначалось работающее гидросооружение. На практике постепенно выясняется, что существенное, иногда определяющее влияние оказывает геологическое строение территории, ее геодинамика.

Корреляции геофизических полей, в том числе атмосферных, ионосферных и др., в качестве возможных предвестников землетрясений лучше изучены для сейсмоактивных районов.

Другое дело территории, которые считаются или считались до недавнего времени асейсмичными, например расположенные на наиболее устойчивых участках земной коры, плитах и платформах.

Постепенно выясняется, что и на платформенных территориях влияние процессов в разломных зонах на различные геолого-геофизические процессы существенно и многообразно. Известны примеры, когда в результате активизации процессов в неактивных, казалось бы, разломах происходили аварии на

гидротехнических сооружениях — в Калифорнии (США), в Индии [31]. Плотины предположительно в некоторых случаях могут играть роль провоцирующего фактора, приводящего к активизации геодинамических процессов. Во время Нефтегорского землетрясения с магнитудой 7,6 и интенсивностью 9 баллов в эпицентре (1995 г.) разлом, не учтенный при строительстве, вышел на дневную поверхность [14]. Катастрофы, возможно, не произошло бы, если бы объекты не располагались непосредственно на разломе. Чернобыльская АЭС стоит на пересечении нескольких разломов, и по одной из версий, впрочем, оспариваемой, аварии предшествовали толчки с небольшой магнитудой [28].

В центре Русской платформы, на Средней Волге, в районе Жигулевской ГЭС, проявление многих геофизических процессов с большой степенью вероятности связано с процессами в системе Волжских разломов и определяется геологией и современной геодинамикой территории.

Изучение вибрационного воздействия работающего гидроузла на грунты, здания и сооружения прилегающей к плотине территории показало, что невозможно результаты работ интерпретировать без учета геологии и геодинамики территории. Да, возникают упругие волны, переносящие энергию падающей воды в глубь территории, при работе водопропускных сооружений плотины ГЭС. Однако особенности распространения упругих волн — дальность и, соответственно, интенсивность возникающих в грунтах вибраций, анизотропность, когда в отдельных направлениях вибрации грунта можно зафиксировать на расстоянии порядка 15 км, — определяются особенностями геологического строения.

Установлено, что и некоторые процессы в атмосфере в районе Жигулевской ГЭС происходят не так, как на смежных территориях Самарской области, и наиболее вероятная причина аномалий — Жигулевский разлом и происходящие в нем процессы.

Интерес к Жигулевскому разлому, в наиболее амплитудной части которого оказалась построена плотина Жигулевской ГЭС, возник после серии землетрясений в конце 2000 г. За время существования плотин и водохранилищ на Волге такое событие произошло впервые. И хотя оно не вышло за пределы исторически установленной оценки сейсмичности района, в связи с урбанизацией территории возрос геодинамический риск, а плотина Жигулевской ГЭС с крупнейшим в Европе водохранилищем в случае аварии ставит под угрозу все нижележащие территории, включая атомный объект — Балаковскую АЭС.

На Средней Волге проводился большой объем исследовательской работы при поиске и добыче нефти. Поэтому после землетрясения удалось быстро собрать информацию и рассмотреть ее под иным углом — с точки зрения оценки современной геодинамической активности территории.

Выяснилось, что русло Волги в среднем течении приурочено к системе глубинных меридиональных разломов, идущих от Камы до Азова. Эти разломы могут как проводить энергию удаленных сильных землетрясений, так и реагировать на них местными событиями [10, 18]. Регион находится под воздействием сжимающих напряжений, возникающих при давлении на Русскую платформу соседних структурных единиц земной коры. Напряжения активно реализуются

по Жигулевскому разлому. В результате этого в районе Жигулевской ГЭС правый и левый берег Волги (они же крылья разлома) двигаются навстречу друг другу, причем левый берег опускается со скоростью несколько миллиметров в год, а правый подымается. Уже сейчас сдвиг геологических пластов левого и правого берега Волги составляет приблизительно 1 км. Именно на этом участке поставили плотину. Сильно разрушенные известняки волжских берегов, карсты — все затрудняло строительство. Вышли из положения следующим образом — бетонное здание ГЭС сместили в устье правобережного оврага, где известняки перекрыты мощным слоем глин. Земляная дамба и бетонная водосливная плотина поставлены на левом берегу, где опущенное северное крыло разлома перекрыто рыхлыми породами мощностью почти 700 м.

Общее напряженно-деформированное состояние среды в условиях встречного движения крыльев Жигулевского разлома и напряжения сжатия являются наиболее вероятной причиной увеличения дальности распространения упругих волн, возникающих при попусках через плотину и вызывающих вибрации грунтов. Рост интенсивности вибраций грунтов с течением времени при прочих равных условиях — явление, крайне затрудняющее прогноз ситуации и планирование мероприятий на плотине и на территории, — также можно объяснить геодинамической напряженностью среды [11].

Оказалось, невозможно описать даже техногенный процесс вибрационного воздействия работающего гидроузла на окружающие территории с функциональной зависимостью интенсивности вибраций V_z от значений расхода воды через плотину Q при попусках (коэффициент корреляции V_z/Q $r \geq 0,9$) без учета геологии.

Влияние Жигулевского разлома выходит за пределы земной коры. В 2006 г. Н.Е. Тишкин, директор Тольяттинской гидрометеорологической обсерватории (Volga UGMS), отметил более интенсивное повышение средней температуры воздуха в Тольятти за период 1952—2006 гг. по сравнению с Самарской областью в целом (3 °С против 2 °С по области) и высказал предположение, что это связано с близостью Жигулевского разлома и его влиянием [16, 17]. Основные закономерности «глобального потепления» присутствовали — направленное изменение зимней температуры воздуха после 1979—1980 гг. В летний период изменения тоже наблюдались, и заключались они в увеличении разброса характеристик температуры, изменении режима выпадения осадков в сторону редких сильных ливней без изменения суммарного количества осадков.

Фактически было установлено еще одно геофизическое поле — атмосферное, поле приземной температуры воздуха, характеристики которого различаются вблизи разлома и на смежных территориях, удаленных от разлома. Эта гипотеза была устно представлена в 2007 г. в рамках Российско-британского семинара «Изменения климата и возможные последствия для экосистемы Волжского бассейна», проходившего в Тольятти в ИЭВБ РАН 14—15 февраля 2007 г. Механизм возможной передачи энергии не анализировался: гипотеза выдвигалась на основе территориального совпадения расположения метеостанции и разлома. Позднее В.Н. Яковлевым (Волжское отделение Института геологии и разработки горючих

ископаемых, г. Самара) [16] устно в рамках круглого стола высказывалось предположение о том, что разуплотнение пород в разломной зоне может облегчить транспорт эндогенного тепла к поверхности из области тепловой аномалии и геодинамические процессы могут быть причиной потепления. Работы в области анализа поля температуры воздуха не получили продолжения и использовались без доказательств в качестве еще одного примера проявления влияния разлома.

Интересно, что над Жигулевским разломом также отмечено образование ЛОА [16]. Рекогносцировочные работы в 2004—2005 гг. выполнялись вскоре после землетрясения по заказу МЧС и показали перспективность исследований. На тот момент изучение формирования ЛОА над разломами земной коры в моменты их активности по данным дистанционного зондирования Земли со спутников проводилось в основном для сейсмически активных территорий. Оказалось, что Жигулевский разлом также трассируется ЛОА, однако работы не получили продолжения.

В 2015 г. выяснилось, что при изучении зимнего минимального стока рек бассейна Волги в условиях изменения климата выявлена долгосрочная локальная тепловая аномалия в районе Жигулевской ГЭС — Самары.

Для оценки минимального зимнего стока по данным 88 метеостанций бассейна Волги и смежных территорий анализировалось изменение зимней температуры воздуха за 1960—2010 гг. На фоне основных закономерностей — активного повышения температуры воздуха после 1979—1980 гг., убывания абсолютного и относительного повышения температуры с запада на восток на территории бассейна Волги — наблюдались неоднородности, которые при оценке стока не стали объектом внимания [4].

Сопоставление данных об аномалиях геофизических полей в районе Жигулевской ГЭС, в том числе о более быстром повышении температуры воздуха в приземном слое по данным стандартных метеорологических наблюдений, наличии аномалий повышения зимней температуры воздуха в бассейне Волги в целом и территориальном соответствии одной из аномалий территории Самарской области, послужило толчком к исследованию, результаты которого приводятся в настоящей статье.

Задача исследования заключалась в проверке корреляции расположения участков повышенной скорости увеличения зимней температуры воздуха в бассейне Волги с локализацией разломов и участков современной геодинамической активности, а также оценке геологических условий территории температурных аномалий и возможности их возникновения под влиянием геодинамических процессов.

Методика исследования

Для анализа климатических изменений на территории бассейна Волги использовались данные из архива ВНИИГМИ — МЦД (www.meteo.ru).

Использовались данные о приращении средней температуры воздуха за зимний сезон (с декабря по март) за 1980—2010 гг. и тренды за весь период наблюдений. Оценивалась статистическая значимость полученных результатов [1].

Анализ возможных причин более интенсивных климатических изменений в районе метеостанции Тольятти и в бассейне Волги проводился путем выявления действующих геолого-геофизических факторов в районе Тольятти и Средней Волги и сопоставления карты коэффициентов линейного тренда воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) и карты приращений зимней температуры за период с 1980 по 2010 г. с картами тектонических нарушений на территории Тольятти, Самарской Луки, Средней Волги, Московской области, схемой сейсмического районирования Восточно-Европейской платформы, информацией о геохимических и иных признаках геодинамической активности территорий, полученных из открытых источников — научных публикаций, отчетов, электронных источников.

Рассматривались по литературным источникам условия и механизмы формирования тепловых аномалий, приуроченных к разломным зонам в сейсмически активных районах: локализация по вертикали в приземном слое и в более высоких слоях атмосферы; амплитудно-временные характеристики. Проводилась оценка возможности применения результатов исследования связи геодинамики и процессов в атмосфере при прогнозе сильных землетрясений применительно к долгосрочным процессам, таким как многолетние направленные изменения температуры, являющиеся объектом рассмотрения в настоящей статье. Обосновывалась возможность связи геодинамики и аномальных изменений температуры в бассейне Волги.

Результаты исследований

Несмотря на то что площадь бассейна Волги не особенно велика, для отдельных участков выявлены существенные с точки зрения климатологии различия в темпах повышения температуры воздуха. По результатам расчетов коэффициента линейного тренда k зимней температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) по данным 88 метеостанций за период 1960—2010 гг. выделяются два основных периода. Второй период начинается после 1980 г. и характеризуется направленным повышением зимней температуры воздуха. На фоне общего повышения выделяются локальные территориальные максимумы k , свидетельствующие о повышенной скорости изменения температуры воздуха. Абсолютный прирост температуры воздуха показывает те же аномалии [4]. Наиболее интенсивное повышение зимней температуры воздуха наблюдается в районе Казани и Коломны (коэффициент k равен 0,71 и 0,74 $^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно). Кроме того, выделяется район Саратова — Самары, где на фоне общего уменьшения прироста температуры воздуха к юго-востоку бассейна k несколько выше, чем на прилегающих участках. В абсолютном выражении повышение средней зимней температуры воздуха составило 1,8 $^{\circ}\text{C}$ в районе Казани и Коломны, 1,7 $^{\circ}\text{C}$ в районе Самары — Саратова. Существуют и другие участки температурных аномалий на границе бассейна Волги, которые в ходе данного исследования детально не изучались. Характеристики температуры воздуха за период активного потепления (с 1979 г.) и за весь период исследований (с 1960 г.) показывают общие территориальные закономерности.

Сопоставим локализацию температурных аномалий с данными о разломах земной коры, собранных из различных источников, не всегда равноценных.

Как уже говорилось, Средняя Волга довольно хорошо обеспечена геологической информацией в связи с нефтедобычей. Кроме того, крупные города Поволжья, столкнувшись с различными геологическими проблемами, в основном провели картирование своих территорий различными способами и нанесли основные, а иногда и мельчайшие тектонические разрывные нарушения и/или их проекцию на дневную поверхность.

Детальное изучение геологии проведено для трех участков: район Самара — Саратов и район Казани расположены в среднем течении Волги, район Коломны — у слияния притоков Волги — рек Москвы и Оки.

В районе Казани попарно пересекаются три разлома мантийного заложения (рис. 1 а), один из них Азово-Камский, южное крыло которого пересекает Самарскую область [10, 18]. Процессы в одном из разломов на рубеже XIX — XX веков вызвали серию ощутимых землетрясений. При более детальном картировании на территории Казани инструментально выделено 20 разрывных нарушений различного ранга, считающихся активными, вызывающих в том числе развитие карстовых процессов [8].

Самарскую область пересекают четыре современно активных разлома мантийного заложения, один из них Жигулевский [18]. Для одного из районов Самарской области — района Самарской Луки — детализированная карта, составленная

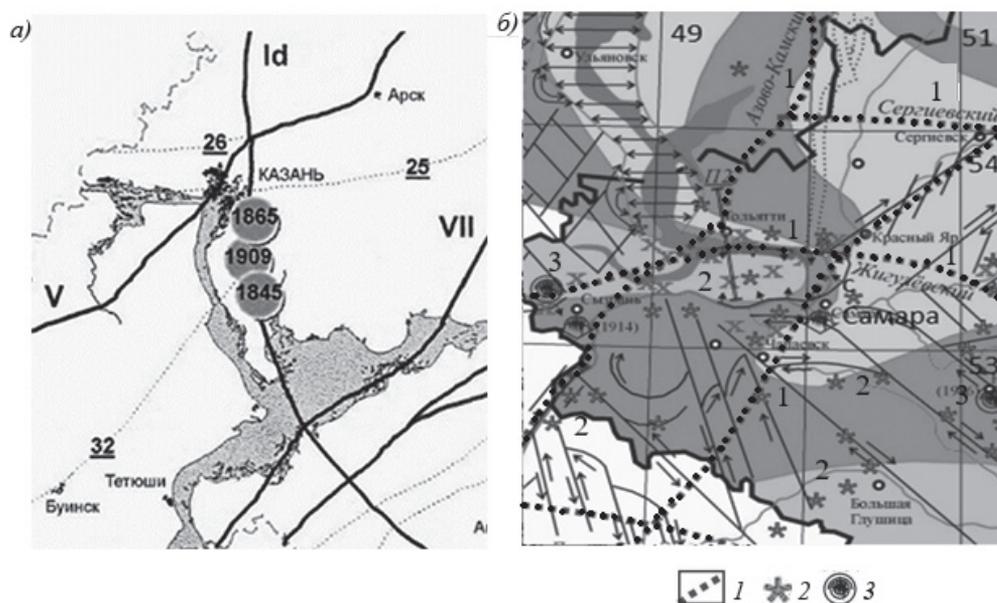


Рис. 1. Фрагменты схем расположения разломов земной коры.

а) в районе Казани: Id, V, VII — разломы мантийного заложения; 25, 26, 32 — региональные разломы; серыми кружками с цифрами указаны положение и год землетрясений в XIX—XX веках; б) в районе Самары [18]: 1 — разломы мантийного заложения; 2 — землетрясения силой до 4 баллов, 3 — землетрясения силой более 4 баллов.

после землетрясений 2000 г., показывает наличие многочисленных разломов более низкого ранга, локализацию современных (слабых) сейсмических событий и др. (рис. 1 б) [18].

В Саратовской области наблюдается сочленение нескольких крупных геоструктур Восточно-Европейской платформы, осложненных системой Волжских разломов; там происходят новейшие вертикальные и горизонтальные движения земной коры [10] преимущественно по Волжскому разлому в полосе шириной приблизительно 100 км, вытянутой вдоль Волги. Ряд признаков указывает на активность разлома в новейшее время. Существует вероятность возникновения землетрясений магнитудой до 6 и интенсивностью до 8 баллов.

Коломна расположена у слияния рек Москвы и Оки, что уже говорит о наличии тектонически ослабленных структур. Геодинамическая активность этой территории максимальна в Московской области и оценивается в 4 балла [29]. По данным ИФЗ им. Шмидта, в районе Коломны пересекаются три разлома второго ранга (рис. 2). Отдельные фрагменты (южные) этих разломов в районе Коломны обозначены как современно активные, наблюдаются различные признаки современной активности в виде дегазации из недр Земли и др. [29, 30].

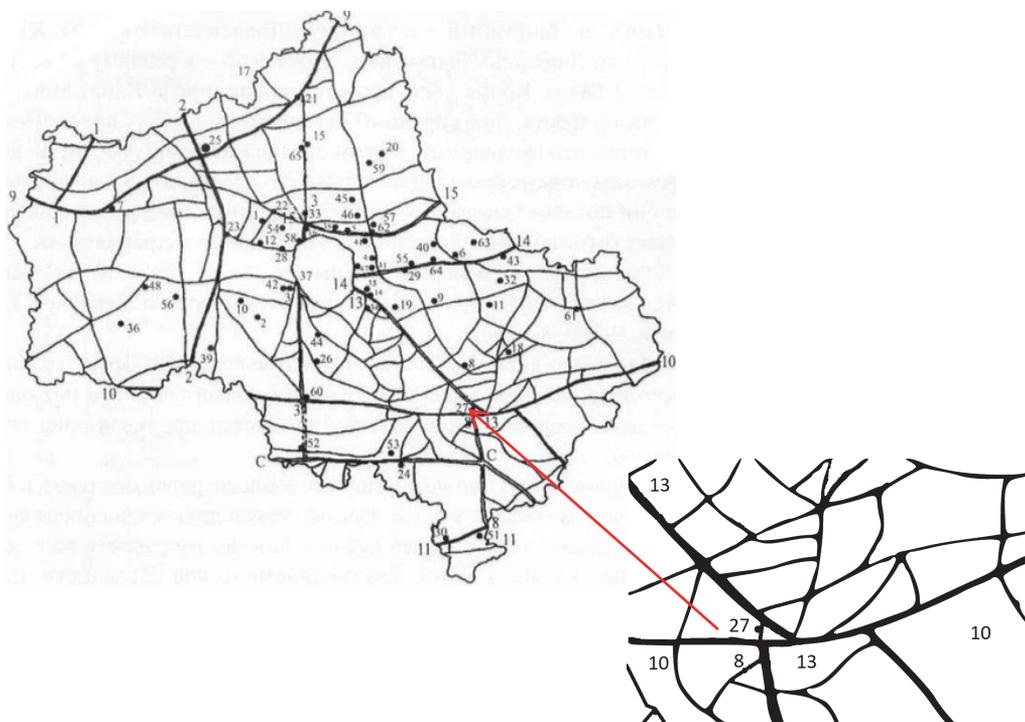


Рис. 2. Карта геодинамического районирования Московской области с увеличенным фрагментом, соответствующим району Коломны [29].

8 — разлом; 10 — разлом, опасность 4 балла; 13 — разлом, опасность 1 балл; 27 — Коломна.

Сопоставление карты трендов зимней температуры воздуха с тектоническими картами европейской части России (материалы ВО ИГ и РГИ, г. Самара) показывает совпадение локализации современно активных в геодинамическом отношении территорий Восточно-Европейской платформы в пределах бассейна Волги и территорий, где климатические изменения происходят более интенсивно (рис. 3).

Все три участка аномального повышения зимней температуры воздуха в бассейне Волги приурочены к зонам крупных разломов, показывающих признаки современной геодинамической активности.

Район Жигулевской ГЭС оказался не самым активным в геодинамическом отношении. Наиболее сильно современная геодинамика проявляется в Республике Татарстан (район Казани). В меньшей степени деформации осуществляются в Ульяновской, Самарской, Оренбургской, Саратовской областях [10, 18].

Гипотеза о приуроченности участков более интенсивных изменений температуры воздуха в бассейне Волги к зонам геодинамической активности находит территориальное подтверждение.

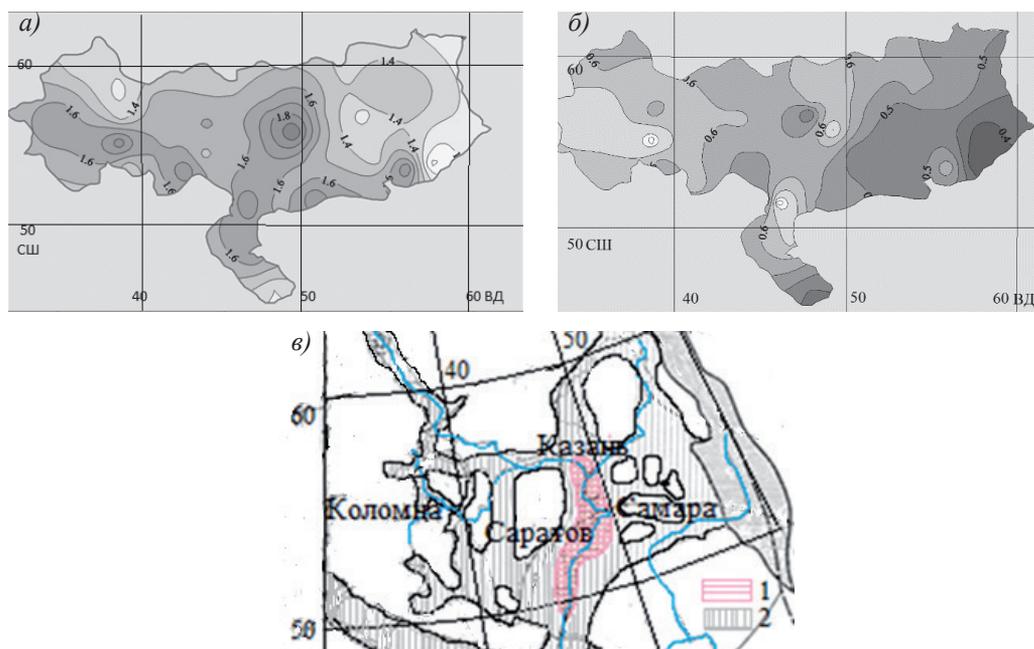


Рис. 3. Приращение средней температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за зимние месяцы за период с 1979 по 2010 г. (а) [4]; коэффициент линейного тренда зимней (декабрь — март) температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) за период с 1960 по 2010 г. (б) [4]; фрагмент схемы сейсмического районирования Восточно-Европейской платформы (в).

Рис. в: 1 — районы вероятных интенсивных землетрясений,
2 — районы возможных землетрясений.

Для полноты исследований оценим иные причины, которые могли бы привести к повышению температуры воздуха на метеорологической станции. Антропогенная составляющая в данном случае маловероятна. В Саратове, Самаре, Казани и тем более Тольятти не наблюдалось стремительного роста численности населения или увеличения промышленного производства после 1980 г., реализовывались программы энергоресурсосбережения. Данные по Самарской области брались при исследованиях зимнего стока по метеостанции Безенчук, расположенной в ПГТ.

Циркуляционные процессы в силу масштабов маловероятны в качестве основной причины локальных территориальных аномалий повышения температуры воздуха. Однако планируется для полноты исследований в дальнейшем проследить изменение траекторий движения циклонов на Средней Волге после 1980 г., а также проанализировать динамику изменения почвенных температур.

Если обратиться к особенностям атмосферных процессов в зонах высокой сейсмической активности, то оказывается, что тепловые аномалии, сопровождающие сильные землетрясения, уже анализировались по данным наземных наблюдений. В работе Милькиса [7] утверждалось, что, когда случилось землетрясение, средняя за сезон или среднемесячная температура была выше, чем среднее многолетнее значение для данного региона. Интерес к воздушным тепловым аномалиям в качестве возможного предвестника землетрясений вновь проявился в связи с совершенствованием их дистанционного обнаружения. Показано, что перед коровыми землетрясениями с магнитудой $M > 4,5$ вдоль разломов наблюдаются положительные аномалии ИК-излучения [5, 15]. Затем тепловые аномалии были обнаружены также в вариациях температуры атмосферы по данным метеорологических станций в течение несколько недель до сильных землетрясений в Мексике в период с 1973 по 2003 г. [20], в вариациях температуры воздуха и дебита воды в скважинах [27].

На примере землетрясения в Мексике в 2003 г., когда был проведен корреляционный анализ результатов мониторинга всех контролируемых в регионе геофизических полей, корректно показано, что перед землетрясением наблюдаются мощные тепловые эффекты, приводящие к изменению температуры и влажности воздуха на больших территориях [24].

Несмотря на изучение возможности использования тепловых аномалий в качестве предвестников землетрясения при краткосрочном прогнозе, исследования в основном носят ретроспективный характер, а исследователи предпочитают говорить об исследовании, мониторинге районов возможных землетрясений, о геологическом и геофизическом картировании.

При наличии корреляции между повышением температуры приземного слоя воздуха и периодами геодинамической активности разломов оставался непонятен механизм передачи тепловой энергии воздуху.

В настоящее время установлен механизм повышения температуры воздуха в зоне разломов, который позднее был экспериментально подтвержден в лабораторных экспериментах с радоном, инжектируемым в камеру с воздухом [22].

Выделение тепла происходит непосредственно в атмосфере в виде скрытой теплоты испарения, а центрами конденсации для влаги становятся ионы, образующиеся в результате ионизации атмосферных газов радоном, выделяемым из земной коры перед землетрясением [24].

Вынос на поверхность радона запускает целую цепь процессов в атмосфере. Механизм формирования ЛОА долгое время не был точно известен, хотя для картирования разломов в геологии метод начали применять приблизительно сто лет назад. Сейчас показано, что ЛОА возникают в верхних слоях атмосферы также в результате ионизации после целого ряда иных атмосферных аномалий, одна из которых — повышение температуры приземного слоя воздуха.

Максимальная концентрация радона наблюдается точно над разломом. Тепловые аномалии у поверхности Земли точно повторяют конфигурацию разломов [23]. По оценкам, разность значений температуры воздуха над разломом и вне разломной зоны составляет 2—5 °С.

Эманации радона объясняют линейную структуру тепловых и облачных аномалий в областях подготовки землетрясений [19].

Наиболее высока вероятность обнаружения тепловой аномалии в течение пяти суток накануне крупных землетрясений [13].

В процессе перемешивания атмосферы происходит увеличение пространственного масштаба аномалии [21], тепловое пятно может охватывать территории в сотни тысяч квадратных километров.

Даже незначительное увеличение концентрации радона за счет высокой энергетической эффективности процесса ионизации приводит к регистрируемому изменению параметров атмосферы [26].

Процесс выделения тепла при конденсации воды на ионизированных молекулах в открытой системе земная кора — атмосфера бесконечен, так как предыдущее испарение воды происходит за счет неисчерпаемой солнечной энергии [12]

Все регистрируемые в атмосфере — ионосфере — магнитосфере аномалии можно объединить в рамках комплексной модели [11, 12, 25], разработанной для прогноза сильных землетрясений. Основным отличием модели является ее междисциплинарный характер. Процессы, описываемые в модели, развиваются в различных геофизических оболочках, начиная от земной коры.

Однако авторы работы [12] говорят об универсальности модели и возможности применения ее в геофизике в широком смысле — там, где существуют источники ионизации, запускающие все механизмы в атмосфере.

Возможно, в Поволжье, в зоне Волжских разломов и Жигулевского разлома, по аналогии с районами высокой сейсмической активности проявляются тепловые процессы в атмосфере; связь атмосферных и геодинамических процессов, проявляется не только в районах с высокой сейсмичностью, но и в районах тектонических нарушений с более слабой геодинамикой.

Действительно, механизм формирования атмосферных аномалий запускается при эманации радона из земной коры. В Поволжье имеется система крупных Волжских разломов, современно активных. Повсеместно зафиксирована

повышенная эманация радона (для Казани, Тольятти, Саратова, Самары существуют множественные измерения, анализ и публикации).

Моменты формирования ЛОА подтверждают комплекс процессов в атмосфере, запускаемых радоном в районах подготовки землетрясений.

Проявление температурных аномалий по данным метеостанции Тольятти в зимний период в результате геодинамических причин не является неустрашимым противоречием, хотя вопрос о сезонной изменчивости сейсмических явлений остается дискуссионным. В работе [6] показано, что существует сезонность изменений частоты землетрясений, связанная с изменением скорости движения Земли в галактике; при этом максимум повторяемости землетрясений приходится на период максимальной скорости (июнь). Эта закономерность проявляется для средних землетрясений и указывает на процессы, увеличивающие и уменьшающие сжатие (в разломах). Замечено, что тектоническая активность Русской платформы достигает пика в апреле — июле и в ноябре — январе [28]. Многочисленные исследования показывают, что планетарные процессы обуславливают сезонность слабых и средних землетрясений. Для сильных землетрясений показана связь сезонной изменчивости с региональными атмосферными процессами [3].

Таким образом, применяя закономерности проявления взаимодействия геосферы и атмосферы в сейсмически активных районах к ситуации в бассейне Волги, в районе Жигулевской ГЭС, можно сказать, что основное отличие наблюдается во временных характеристиках изменения температуры приземного слоя воздуха. В качестве возможного предвестника землетрясений рассматриваются тепловые аномалии с периодом несколько суток. В первом упоминании о температурной аномалии в связи с землетрясением говорилось о повышении среднемесячной температуры.

В случае Поволжья речь идет о более длительном повышении температуры воздуха. Следует установить, наблюдались ли в Поволжье тепловые аномалии продолжительностью в несколько суток, сопровождаемые ЛОА. Первоначально анализ предполагается выполнить для периодов нескольких зафиксированных в районе Жигулевской ГЭС местных сейсмических событий последних лет, сведения о которых имеются, например, в [18]. Затем следует оценить, могут ли подобные аномалии, если они будут выявлены, складываться в долгосрочное повышение температуры воздуха.

Планируется изучить геологию и геодинамику районов иных метеостанций и оценить возможные варианты корреляции изменений температуры с геодинамикой. Так, перспективными для исследования являются участки температурных аномалий на юго-восточной границе бассейна Волги (на границе с Оренбургской областью).

Что даст связь повышения температуры воздуха с геодинамикой, если гипотеза будет признана доказанной?

Для анализа происхождения долгосрочных аномалий повышения приземной температуры воздуха получаем возможную причину происходящих изменений — геодинамические процессы, в которых выдавливание радона из земной коры приводит к запуску последующих процессов в атмосфере. Отсутствие объяснения в климатологии причин для приблизительно 50 % составляющей глобального

потепления и наличие у «радоновой» модели корректно установленного механизма повышения температуры приземного слоя воздуха делает эту гипотезу пригодной для дальнейшей проверки на основе экспериментальных материалов.

При обнаружении связи тепловых аномалий с последующими сейсмическими событиями исследователи получили возможность отслеживать подготовку сильных землетрясений по относительно легко дистанционно контролируемому параметру — температуре воздуха.

Возможно, общие закономерности повышения температуры воздуха могут быть использованы для комплексного анализа ситуации в Поволжье, и в первую очередь в районе Жигулевской ГЭС, для прогноза геофизических полей, оценки геодинамического риска.

Так, например, активность Жигулевского разлома в настоящий момент никак не контролируется, хотя потенциально сила возможного здесь землетрясения оценивается в 9 баллов [18], а для Саратовской области — в 8 баллов [10].

Если использовать концепцию зоны подготовки землетрясения применительно к району Жигулевской ГЭС, то здесь уже наблюдаются аномалии скорости распространения упругих волн, ЛОА, более интенсивное выделение радона, увеличение числа местных сейсмических событий [18], долгосрочная тепловая аномалия.

Вне компетенции автора говорить о подготовке землетрясения. Однако увеличение интенсивности вибраций как результат изменения условий прохождения упругих волн в грунтах, нарастание скорости изменения зимней температуры воздух в районе Жигулевской ГЭС и Поволжья, возможно, свидетельствуют о повышении геодинамической активности территории.

Исследователи получают регистрируемый параметр — температуру приземного слоя воздуха — как индикатор роста напряжений в геологической среде. Это актуально для всего Поволжья, и для района Жигулевской ГЭС в частности.

Выводы и предложения

Выявлено территориальное совпадение трех участков более быстрого повышения зимней температуры воздуха в бассейне Волги после 1980 г. с районами современной геодинамической активности на европейской части России.

Показано наличие на данных участках крупных разломов, проведена комплексная оценка их активности.

Оценена возможность формирования температурных аномалий в соответствии с механизмом, запускаемым выделяющимся из земной коры в разломных зонах радоном с выделением тепла непосредственно в воздухе.

Оценена возможность применения комплексной модели формирования атмосферных аномалий в районах подготовки сильных землетрясений для территории Поволжья.

Внесен вклад в создание комплексной картины геолого-геофизических процессов, происходящих в районе Жигулевской ГЭС.

Необходимо провести дополнительные исследования краткосрочных температурных и других аномалий (по данным дистанционного зондирования Земли)

для периодов, предшествующих зафиксированным в бассейне Волги сейсмическим событиям.

В случае выявления корреляций следует использовать метод тепловых аномалий для мониторинга геодинамической активности платформенных разломов, и прежде всего для района Жигулевской ГЭС.

Работа выполнена в составе фундаментальных исследований по теме № 0147-2019-0004 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090105-5) Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Барковский Е.В. По закону сохранения энергии // Техника — молодежи. 2001. № 10. С. 56—60.
2. Боков В.Н. Качество метеорологических прогнозов — основа точности прогноза землетрясений // УЗ РГГМУ. 2006. № 2. С. 229—239.
3. Боков В.Н. О связи атмосферной циркуляции и сейсмичности в диапазоне сезонной изменчивости // УЗ РГГМУ. 2010. № 14. С. 89—100.
4. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне р. Волги // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. 2014. № 3. С. 83—99.
5. Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В. Уходящее инфракрасное излучение Земли — индикатор сейсмической активности // ДАН СССР. 1988. Т. 301. № 1. С. 67—69.
6. Кропоткин П.Н., Люстих А.Е. Сезонная периодичность землетрясений и принцип Ньютона — Маха // Доклады АН СССР. 1974. Т. 217. № 5. С. 1061—1064.
7. Милькис Б.Р. Метеорологические предвестники сильных землетрясений // Известия АН СССР. Физика Земли. 1986. № 3. С. 36—47.
8. Мирзоев К.М., Степанов В.П., Гатиятуллин Н.С., Тарасов Е.А., Гатиятуллин Р.Н., Каиуркин П.И., Кожевников В.А. Глубинный карст и современные движения земной поверхности в Татарстане // Георесурсы. 2006. № 1 (18). С. 44—47.
9. Морозова Л. И. Проявление Главного Уральского разлома в поле облачности на космических снимках // Исследование Земли из космоса. 1980. № 3. С. 101—103.
10. Огаджанов В.А. О проявлении сейсмичности в Поволжском регионе после сильных землетрясений в бассейне Каспийского моря // Физика Земли. 2002. № 4. С. 48—54.
11. Прогноз землетрясений возможен?! / Под ред. С.А. Пулинца. М.: Троянт, 2014. 144 с.
12. Пулинец С.А., Узунов Д.П., Карелин А.В., Давиденко Д.В. Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в системе литосфера — атмосфера — ионосфера — магнитосфера, инициируемых ионизацией // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 4. С. 1—19.
13. Пулинец С. А., Узунов Д. П. Спутниковым технологиям нет альтернативы. О проблеме мониторинга природных и техногенных катастроф // Труды Института прикладной геофизики им. Е.К. Федорова. Вып. 89. 2011. С. 173—185.
14. Рогожин Е.А. Тектоника очаговой зоны Нефтегорского землетрясения 27 мая 1995 г. на Сахалине // Геотектоника. 1996. № 2. С. 45—53.
15. Сальман А.Г., Тронин А.А. Вариации потока уходящего ИК-излучения Земли в сейсмоактивных районах Средней Азии // Известия АН СССР. Физика Земли. 1990. № 7. С. 67—69.
16. Трубецкова М.Д., Шумакова Е.М. Системный подход к организации геофизического мониторинга в районе Жигулевской ГЭС. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016) / В сб.: Девятая межд. конф. Под ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М., 2016. С. 357—359.
17. Шумакова Е.М., Трубецкова М.Д., Разумовский Л.В. Геодинамика района Жигулевской ГЭС и ее проявление в геофизических процессах приплотинной зоны / В сб.: Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды VI Межд. науч.-практ. конф., 2017. С. 184—189.

18. Яковлев В.Н., Шумакова Е.М., Трезуб Н.В. Сейсмическая активность и геодинамика Самарской области // ИСНЦ РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 27—34.
19. Doda L., Pulinets S. Earthquake clouds and physical mechanism of their formation / AGU Fall Meeting, Eos Trans. AGU, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract T31A-0426, 2006.
20. Dunajevka M.A., Pulinets S.A. Atmospheric and thermal anomalies observed around the time of strong earthquakes in Mexico // Atmosfera. 2005. V. 18, No. 4. P. 235—247.
21. Levina, G.V., Moiseev, S.S., Rutkevich, P.B. Hydrodynamic alpha-effect in a convective system // Series: Advances in Fluid Mechanics. Nonlinear Instability, Chaos and Turbulence (Eds. L. Debnath and D.N. Riahi). 2000, 2. P. 111—162.
22. Martinelli G., Solecki A.T., Tchorz-Trzeciakiewicz D.E., Piekarczyk M., Grudzinska K.K. Laboratory experiments on radon 222 exposure effects on local environmental temperature: implications for satellite TIR measurements/ Abstr. EGU General Assembly 27 April – 2 May 2014. Vienna, Austria, 2014. Id. 3175.
23. Ouzounov D., Freund F. Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data // Advances in Space Research. 2004, 33. P. 268—273.
24. Pulinets S. A., Ouzounov D., Karelin A. V., Boyarchuk K. A., Pokhmelnikh L. A. The physical nature of the thermal anomalies observed before strong earthquakes // Physics and Chemistry of the Earth. 2006, 31. P. 143—153.
25. Pulinets S., Ouzounov D., Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model - a unified concept for earthquake precursors validation // Asian J. Earth Sci. 2010, 39. doi:10.1016/j.jseaes.2010.03.005.
26. Svensmark H., Pedersen J. O. P., Marsh N. D., Enghoff M. B., Uggerhøj U. I. Experimental evidence for the role of ions in particle nucleation under atmospheric conditions // Proc. R. Soc. A. 2007, 463. P. 385—396.
27. Tronin A.A., Biagi P.F., Molchanov O.A., Khatkevich Y.V., Gordeev E.I. Temperature variations related to earthquakes from simultaneous observation at the ground stations and by satellites in Kamchatka area // Physics and Chemistry of the Earth. 2004. V. 29. P. 501—506.
28. Барковский Е.В. Геофизическая причина взрывов на Чернобыльской АЭС, в Сасово и других регионах Восточно-Европейской платформы // Научный журнал Русского физического общества. 16 апреля 1994 г. IPCC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rusphysics.ru/articles/199/>. Дата обращения: 1.03.2019.
29. IPCC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://alfapol.ru/geo-dinamicheskoe-rajonirovanie-moskvy-i-moskovskoj-oblasti/> Дата обращения: 2.03.2017.
30. IPCC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://solium.ru/forum/saveimg/2011/04/12/rfywxmxuger0arxalj.jpg/> Дата обращения: 2.03.2017.
31. IPCC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cawater-info.net/bk/dam-safety/safety-and-earthquake.htm/> Дата обращения: 1.04.2019.