

В самом начале книги «Удивительный волшебник из страны Оз» мощный шумный вихрь уносит Элли вместе с ее домиком и несколько раз поворачивает дом вокруг своей оси. В оригинале у Лаймена Фрэнка Баума используется слово *cyclone* (а в русском переводе — «ураган»), но закрутка, подъемная сила, характерный шум и внезапность указывают на то, что Элли унес не циклон, а торнадо. Действительно, штат Канзас, как и его соседи, находится в так называемой *аллее торнадо* — регионе, где ежегодно образуется несколько сотен смерчей. А всего в США в год возникает около 1300 смерчей (в отдельные годы — более 1500) [1]. Но это в русском языке они все «смерчи»; в английском это — *tornado, landspout, waterspout, gustnado* и их ближайшие братья *dustdevil* и *steam devil*.

Какие бывают смерчи?

Все эти вихри представляют собой вращающуюся колонну воздуха (воронку). Наиболее безобидные из них, несмотря на «дьявольское» название, — *dustdevil* и *steam devil* — пыльные или паровые вихри (а в арабском языке — «джинны»). Образуются они над очень перегретой поверхностью (когда температура поверхности гораздо выше температуры воздуха) — например, над очень темной пашней весной в солнечный день, над поверхностью пустыни или над озером с горячими источниками. Такие вихри скоротечны (живут секунды и, реже, минуты) и невелики (размер составляет метры). Чаше всего такие «джинны» не приводят к серьезным последствиям, хотя торговые палатки на рынке или солнечные зонтики на пляже разбросать могут. А вот на климат планет пыльные вихри влияние оказывают, поднимая в атмосферу пыль и песок. И если на Земле их вклад не так заметен, то на Марсе он решающий [2].

Пыльные вихри часто называют по ошибке смерчами, но всё же настоящим смерчем является вращающаяся колонна воздуха, которая связывает землю и облако. Есть две разновидности: обычные смерчи и смерчи по типу *торнадо*.

Смерч и торнадо: в чем различия?

Обычные смерчи чем-то напоминают своих «дьявольских» пыльных собратьев и растут снизу, от поверхности земли. Они появляются под типичными кучево-дождевыми облаками. Прогрев поверхности и конвергенция ветра (то есть сечение его



Смерчи в России: реальная угроза?

Александр Чернокульский, канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр. Института физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН



Александр Чернокульский

в одну узкую область) приводят к подъему теплого воздуха и росту облаков от кучевых до кучево-дождевых. Капли в облаках укрупняются, и в какой-то момент вертикальный подъем становится слабее силы притяжения: капли устремляются вниз — идет дождь, который гасит конвекцию. Часть капели испаряется, на что тратится тепло, опускающийся воздух становится более холодным — поэтому дождь, как правило, сопровождается понижением температуры. Под облаком на смену конвергенции приходит дивергенция (растекание воздуха), часто выражающаяся в шквалах на так называемых фронтах порывистости — резком усилении ветра при его растекании из-под облака. Скорее всего, такое резкое кратковременное усиление ветра перед ливнем многие испытывали на себе.

А когда же формируются смерчи? Чаше всего — на стадии роста облака: при определенных условиях, когда конвергенция слишком сильна, а ветер слегка меняет направление с высотой, воздух поднимается в достаточно узкой области и приобретает закрутку. Так формируются смерчи по типу *landspout* над сушей и *waterspout* над водой. Последние —

частые гости на Черноморском побережье России. Иногда смерчи формируются и на стадии разрушения, на фронте порывистости — это так называемые *gustnado*. Оба типа смерчей достаточно слабые и короткоживущие — время их жизни составляет считанные минуты. Да и диаметр таких смерчей обычно не превышает нескольких десятков метров.

В отличие от обычных смерчей, торнадо растут сверху, из облака. Но не из любого, а из так называемого суперъячейкового. Формируется оно из кучево-дождевого облака при сильном сдвиге ветра — т. е. при изменении силы и направления ветра с высотой. Сдвиг ветра наклоняет растущее облако, в результате зона подъема теплого воздуха и зона осадков разносятся в пространстве и облако само себя не гасит. Если воздух внизу особенно теплый и влажный, такое облако может разрастись до нескольких десятков километров. Сдвиг ветра определяет закрутку как поднимающегося воздуха в зоне конвекции, так и опускающегося — в зоне осадков.

В результате в зоне поднимающегося теплого воздуха формируется мезоциклон: вращающаяся (в Северном полушарии — против часовой стрелки) часть облака диаметром 3–10 км. Особенно мощные мезоциклоны, способные привести к торнадо, «любят» большую влаж-

ность и сильный сдвиг ветра в нижней тропосфере, а также низкое атмосферное давление. Вокруг мезоциклона по большому радиусу опускается холодный воздух. Мезоциклон работает как мощный пылесос: конвекция в суперъячейке настолько сильна, что она пытается втянуть обратно и этот опускающийся холодный воздух, если только он не слишком холодный (с температурой на 5–10 градусов ниже окружающей), а значит — и тяжелый. А если разница составляет лишь несколько градусов, то образуется сильная конвергенция, которая помогает мезоциклону «прорасти» вниз и сформировать смерч по типу торнадо [3].

В отличие от обычных смерчей, смерчи-торнадо достигают размера в сотни метров, а иногда и больше — до 4 км в США и до 2 км в России. В США самый широкий смерч был зарегистрирован 31 мая 2013 года в районе Эль-Рино. А в России двухкилометровую полосу вываленного леса оставил смерч 26 июня 2008 года в Верхнетомском районе Архангельской области [4]. Торнадо могут жить больше часа и проходить вместе с материнским облаком путь более 100 км.

Скорость ветра внутри смерча

В обычном смерче скорость ветра редко превышает 50 м/с. Другое дело торнадо, в котором ветер может разогнаться до 100 м/с и даже больше. Правда, реальную скорость ветра внутри сильного торнадо напрямую измерить невозможно. Анемометры — приборы для контактных измерений скорости ветра — имеют предел, да и просто ломаются внутри сильных смерчей.

Методы видеограмметрии позволяют восстановить скорость на внешней стене смерча — для этого нужна съемка с высоким разрешением и хорошо видимые обломки, которые могут служить ориентиром. Доплеровские радары, которые измеряют скорость по смещению частоты возвратного сигнала относительно излученного, позволяют восстановить поле ветра, но не у поверхности Земли, поскольку сигнал излучается под определенным углом. И чем дальше торнадо от радара, тем на большей высоте будет определена скорость ветра.

В последнее время американские ученые активно используют установки по типу *doppler on wheels* — мощные

Смерч-торнадо третьей категории по шкале Фудзиты, прошедший 15 июля 2014 года в Алтайском крае (Петропавловский район, село Зеленый Дол)

укрепленные грузовики с радаром на борту. Данный метод соединил подходы ученых и охотников за смерчами (*storm chasers*): такие мобильные установки позволяют подъехать максимально близко к суперъячейке и торнадо (помогает и густая сеть американских дорог), а специальные сваи удерживают грузовик неподвижным даже при очень сильном ветре. Максимальная измеренная скорость ветра в смерче с помощью радара составила 144 м/с [5].

Оценка интенсивности смерча

Очевидно, что такой ветер наносит серьезный ущерб. Именно на степени ущерба, а не на скорости ветра основана шкала интенсивности смерчей, предложенная американским метеорологом Теодором Фудзитой (Theodore Fujita). Выделяется шесть градаций интенсивности смерча — от нулевой до пятой, определяемых по степени разрушений построек и характеру повреждения деревьев [6]. Сейчас используется улучшенная шкала Фудзиты, предлагаются различные варианты международных шкал [7].

Обычно смерчу присваивается максимальная интенсивность, отмеченная на его пути. Наибольшие разрушения отмечаются в области, где суммируется направление движения материнского облака и вращение смерча (в Северном полушарии — в правой части смерчевого трека, если смотреть по ходу движения). Причем внутри большого торнадо иногда формируются отдельные жутки (*suction vortices*), в которых ветер еще сильнее, и тогда надо складывать уже три вектора.

Наибольшую угрозу для человека внутри смерча представляют вращающиеся обломки — различные доски, ветки, грабли, куски стен, — а совсем не опасность улететь, как часто представляется. Кстати, именно обломки и поднятая пыль делают торнадо видимым для наблюдателя. Играть роль и падение давления внутри смерча — по отдельным данным наблюдений с помощью специальных, хорошо защищенных от ветра барометров, оно составляет до 40 мм рт. ст. [8].

Ветер и падение давления («на двоих») дают смерчу хорошую подъемную силу. Именно отсюда берут начало истории про золотые монеты, рыб и лягушек, падающих с неба. Например, проходя через небольшой пруд, смерч может полностью его осушить, подняв в воздух всех его обитателей и выслать через несколько километров. Но он способен поднимать и предметы тяжелее лягушек. Можно найти как безобидные описания подъемной силы смерча: «с чердака одного из домов смерчем был унесен ящик с салом весом до 8 пудов», так и по-настоящему страшные. Например, смерч, прошедший через Ростов Великий 24 августа 1953 года, сбросил с железнодорожных путей два 16-тонных вагона, груженных кирпичами и известью, и на 10 м перенес железную раму весом в тонну; с крыш было содрано железо и местами скручено в жгуты; серьезно был поврежден Ростовский кремль — почти все купола оказались разрушены [9].

Как укрыться от торнадо? Если вихрь застал вас в чистом поле — посмотрите, куда он движется. Если справа налево (или слева направо) и к вам не приближается — то просто оставайтесь на месте. Крайне редко смерчи резко меняют направление движения, они продолжают смещаться вместе с материнским облаком — кстати, довольно быстро, со скоростью око-



Мобильный доплеровский радиолокатор Doppler-on-Wheel

► до 40–50 км/ч, так что пешком или на велосипеде его не обогнать. А вот если смерч как будто застыл на месте, при этом шум усиливается — это опасный знак: значит, он идет строго на вас. Учитывая, что наибольшей силой смерч обладает в своей правой части (где суммируются векторы движения облака и самого смерча), т. е. по левую руку для наблюдателя, — в этом случае стоит попробовать убежать направо.

Лучше спрятаться в доме и закрыть все окна, но и это не панацея: летающие обломки и перепад давления могут «вскрыть» загородный жилой дом, как консервную банку. Сначала обломки разбивают окна и нарушают герметичность дома, дальше сильный ветер и разность давления отрывают крышу, затем разрушают внешние стены. До последнего держатся внутренние стены, и именно внутренняя комната, если такая есть, может быть наилучшим убежищем во время прохождения смерча. Но надежнее всего пережить стихию в специально оборудованном подвале, куда надо спуститься заранее, как только вы получили предупреждение о торнадо.

Спутниковый снимок ветровала, оставленного смерчем 7 июня 2009 года на юге республики Коми (Усть-Куломский район)

ный воздух внизу; б) неустойчивая стратификация (т. е. профиль температуры с высотой должен не гасить конвекцию, а поддерживать ее); в) затравочный подъем (например, орографический или на холодном фронте). Если сравнить торнадо с огнем в печи, то «а» — это дрова, «б» — тяга в трубе, «в» — спичка и бумага под дровами. Уже эти три ингредиента дадут мощную конвекцию, но для перехода в «долгоиграющий» вариант с мезоциклоном нужен четвертый ингредиент — сдвиг ветра. Все эти четыре составляющие могут быть выражены численно в виде так называемых индексов конвективной неустойчивости.

Наличие всех этих ингредиентов (а именно закритических значений индексов неустойчивости) в прогнозе указывает на высокий риск формирования опасных конвективных явлений в том или ином регионе. И поэтому для такого региона выпускается более детальный гидродинамический прогноз с высоким разрешением на



Однако последние работы российских ученых показывают, что смерчи в нашей стране случаются гораздо чаще, чем считалось раньше [4, 12, 13].

Смерчи в России

Смартфоны с камерами, мобильный Интернет и социальные сети подарили исследователям море новой информации о смерчах в густонаселенных районах [4, 13]. А в лесных областях помогли спутниковые данные о ветровалах: смерчевые ветровалы хорошо видны из космоса в виде узких областей, внутри которых деревья лежат против часовой стрелки, в отличие от шкваловых ветровалов, где деревья лежат по направлению ветра [12].

Согласно последним данным, в нашей стране формируется 100–300 смерчей в год (не включая водные), из них 10–50 — со скоростью ветра >50 м/с, 1–3 — со скоростью >70 м/с. Если водные смерчи наблюдаются в основном в конце лета и в начале осени, главным образом в первую половину дня, то сухопутные (особенно сильные) — «предпочитают» начало лета (июнь) и время в районе 5–6 вечера [4]. Особенно много смерчей на европейской территории России. В Московской области, например, в среднем за год формируется около 7,5 смерча (1,9 смерча со скоростью ветра >50 м/с) [13]. Часто смерчи проходят и непосредственно через населенные пункты, в том числе областные центры: Москву (1904), Нижний Новгород (1974), Иваново (1984), Владивосток (1997), Благовещенск (2011), Ханты-Мансийск (2012).

Самые сильные смерчи в России отмечались в Москве в 1904 году, в Ивановской и Ярославской областях в 1984 году и в Курганской области в 2017 году. Некоторым даже присваивали имена. Так, смерч, прошедший в 1909 году через деревню Мишкино (сейчас в Курганской области), получил название «Горыныч». Про этот смерч, наряду с сухим описанием ущерба, есть интересный пассаж: «Одного интеллигента носило по воздуху, он спасся от возможной смерти, ухватившись за полуразрушенный дом и бесследно потеряв находившиеся при нем документы».

Но не всегда людям везет: например, из-за так называемой Ивановской

вспышки смерчей 9 июня 1984 года погибли, по разным данным, от 69 до 400 человек. Вообще, смерчи любят формироваться такими «гроздьями» — вспышками (*tornado outbreak*). В России до трети всех смерчей возникает именно таким образом: больше всего их было зарегистрировано 2 августа 2017 года в Тверской и соседних областях: 52 смерча за один день [13]! Но они были достаточно слабыми, в отличие от Ивановской вспышки, которая стала одной из самых мощных в Европе; если бы она случилась в США, то была бы в числе 25% самых сильных вспышек торнадо в этой стране [14]. В тот день сформировалось от 8 до 13 смерчей, они ударили по Московской, Ярославской и Ивановской областям [14, 15]. Один из смерчей прошел через московский аэропорт Шереметьево, повредив три самолета и оставив к северу от него широкую просеку — она и теперь прослеживается на картах к северо-востоку от Перепечинского кладбища: здесь посреди леса как будто выросли большие поляны, сейчас они заняты различными СНТ («Мечта», «Энциклопедист», «Луч», «Рябинка», «Ветеран», «Нефтехимик» и так далее). В Ярославской области смерч шириной 1,7 км сильно повредил деревню Большое и Малое Сартово, смял рейсовый автобус. А в Ивановской — самый сильный смерч (4-й категории по шкале Фуззита) пронесся по пригородам Иваново и ушел дальше на север, к Волге, проделав путь в 85 км [14].

Пожокие крупные ветровалы — до 80 км в длину и до 2 км в ширину — смерчи оставляют в российских лесах вдали от населенных пунктов и в наши дни [12]. То есть нам пока просто везет, что многие разрушительные смерчи проходили мимо городов. Но вряд ли везение будет вечным. Более того, изменение климата может привести к учащению опасных конвективных событий, в том числе и смерчей. Рост числа самих смерчей, отмеченный учеными в последние годы, не показателен, так как зависит от увеличения объема информации. Более репрезентативна повторяемость дней с закритическими значениями индексов конвективной неустойчивости — она растет по данным наблюдений

и будет расти и дальше согласно расчетам с климатическими моделями [16]. А значит, прогнозирование смерчей — очевидная необходимость самого ближайшего будущего.

1. Carbin G., Guyer J. The 2015 Tornado Season: In Like a Lamb, Out Like a Lion // *Weatherwise*. 2016. 69. P. 43–49.

2. Lorenz R.D., Balme M.R., Gu Z., Kahanpää H., Klose M., Kurgansky M.V. et al. History and Applications of Dust Devil Studies // *Space Sci Rev*. 2016. 203. P. 5–37.

3. Markowski P.M., Richardson Y.P. How to make a tornado // *Weatherwise*. 2013. 66. P. 12–19.

4. Chernokulsky A., Kurgansky M., Igor M., Shikhov A., Azhigov I., Selezneva E. et al. Tornadoes in northern Eurasia: From the middle age to the information era // *Monthly Weather Review*. 2020. 148. P. 3081–3110.

5. Wurman J., Kosiba K., White T., Robinson P. Supercell tornadoes are much stronger and wider than damage-based ratings indicate // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021. 118. e2021555118.

6. Fujita T.T. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1981. 38. P. 1511–1534.

7. Groenemeijer P., Holzer A.M., Hubrig M., Kühne T., Bock L., Soriano J. de D. et al. The International Fujita (IF) Scale. Weesling, 2018.

8. Winn W.P., Hunyady S.J., Aulich G.D. Pressure at the ground in a large tornado // *Journal of Geophysical Research*. 1999. 104. P. 22067–22082.

9. Попов Б.М. Прохождение смерча по г. Ростову, Ярославской области 24 августа 1953 г. // *Метеорология и гидрология*. 1954. № 3. P. 27–30.

10. Brooks H.E., Doswell C.A. III, Zhang X., Chernokulsky A., Tochimoto E., Hanstrum B. et al. A Century of Progress in Severe Convective Storm Research and Forecasting // *Meteorological Monographs*. 2018. 59. P. 18.1–18.41.

11. Doswell C.A. III, Schultz D.M. On the use of indices and parameters in forecasting severe storms // *E-Journal of Severe Storms Meteorology*. 2006. 1. P. 1–24.

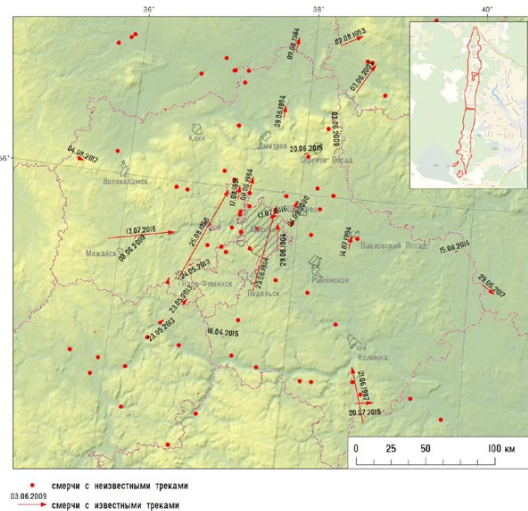
12. Shikhov A. and Chernokulsky A. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe // *Rem. Sens. Environ.* 2018. 204. P. 553–567.

13. Чернуковский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н., Ажигов И.О., Селезнева Е.В., Захарченко Д.И., Антонову Б., Кунте Т. Смерчи в российских регионах // *Метеорология и гидрология*. 2021. № 2. С. 17–34.

14. Chernokulsky A., Shikhov A. 1984 Ivanovo tornado outbreak: Determination of actual tornado tracks with satellite data // *Atmospheric Research*. 2018. 207. P. 111–121.

15. Васильев А.А., Песков Б.Е., Снитковский А.И. Смерчи, шквалы и град 8–9 июня 1984 г. // *Метеорология и гидрология*. 1985. № 8. С. 5–15.

16. Чернуковский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И. Анализ изменений условий смерчегенеза в Северной Евразии с использованием простого индекса конвективной неустойчивости атмосферы // *Доклады Академии наук*. 2017. № 477. С. 722–727.



Смерчи в Московской области. На врезке — границы ветровала от Шереметьевского смерча 9 июня 1984 года, совмещенные с «Яндекс»-картами. Иллюстрация: А. Чернуковский и А. Шихов

Прогнозирование смерчей

Первый прогноз торнадо был сделан еще в 1884 году военным метеорологом Джоном Парком Финли (John Park Finley), но его руководство по считало, что паника, которую посеет это сообщение, опаснее самого явления. Был наложен запрет даже на само слово «торнадо» [10]. С запретом связано несколько анахронизмов, которые можно встретить в современных фильмах и книгах о США 1920–1930-х годов, например в фильме «Погоня за Бонни и Клайдом»: на 13-й минуте действия радиопередача прерывается экстренным сообщением и жена главного героя говорит: «А, это, скорее всего, очередное предупреждение о торнадо». Но никакого предупреждения тогда быть не могло — а торнадо вполне себе были! Запрет продержался почти 70 лет, до марта 1952 года, когда служба погоды выпустила первый прогноз торнадо. Решение было принято после того, как в 1948 году очередной смерч уничтожил 52 крупных военных самолета на военной базе в Оклахоме.

При прогнозе вероятности смерчей и других опасных конвективных явлений на несколько дней вперед часто используется ингредиентный подход [11]. Выделяют основные «ингредиенты» торнадо: а) теплый и влаж-

несколько часов вперед, оценивается вероятность возникновения непосредственно торнадо.

Дальше для сверхкраткосрочного прогноза (наукастинга) используются радарные и спутниковые данные, которые позволяют уточнить конкретное место и время прохождения торнадо. В США заблаговременность прогноза такого события с высокой пространственной детализацией сейчас составляет около получаса [10]. Достаточно, чтобы успеть укрыться в подвале.

В России прогнозируются такие опасные конвективные явления, как сильные ливни, град и шквалистый ветер. Но не смерчи: по-прежнему считается, что в нашей стране они исключительно редки. На это указывала как самая первая работа по климатологии смерчей в Европе, выполненная немецким геофизиком Альфредом Вегенером еще в начале XX века, так и более поздние работы С.П. Хромова, А.И. Снитковского, А.А. Васильева.

Карта смерчей разной интенсивности в России и соседних странах с X века по 2016 год. На врезке: изменение числа смерчей (трехлетнее скользящее) в России с 1900 по 2018 годы, по данным очевидцев и спутниковых наблюдений. Источники: [4] и [13]

