

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.594.221

*В.П. Горбатенко, Т.В. Ершова, Д.А. Константинова***ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАЗРЯДОВ МОЛНИИ
В ЗЕМЛЮ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ***Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-05-00668а).*

Произведена оценка распределения средних значений плотности разрядов молнии для территории Западной Сибири с учетом результатов спутниковых наблюдений за молниями методами коррективки, отработанными на основе сравнения результатов спутниковых и наземных наблюдений над разрядами молнии над территорией Германии. Полученные результаты сравнивались с картой грозовой активности, построенной другим методом.

Ключевые слова: пространственное распределение; плотность разрядов молнии.

С вопросами молниезащиты и пространственного распределения молниевых разрядов приходится сталкиваться специалистам многих отраслей. Возрастает количество высотных зданий и площадь застройки; в промышленности применяются горючие и взрывоопасные вещества; в электронике и связи чаще применяются чувствительные электронные приборы, которые чутко реагируют на возмущения, вызванные грозowymi разрядами. Результатом повреждений могут быть нарушения нормального функционирования производства, и в отдельных случаях поражения молнией приводят к трагическим последствиям.

В России основными источниками информации о грозоопасности территории являются визуально-слуховые наблюдения на метеорологических станциях и эпизодические инструментальные наблюдения. Инструментальные наблюдения над грозами (количеством разрядов молнии в единицу времени на единице площади) проводились около 20 лет назад в ряде пунктов ЕТР, в Восточной Сибири, в некоторых районах Западной Сибири и Казахстана. Однако надежные данные о результатах непосредственного распределения плотности разрядов молнии в землю (N) над Западной Сибирью не были получены, поскольку наблюдения были непродолжительными.

В настоящее время в Якутии Институт космофизических исследований и аэронавтики СО РАН [1. С. 73] проводит наблюдения за грозовой активностью с помощью однопунктового грозопеленгатора-дальномера и системы Boltek LD – 250 и Storm Tracker. На Северном Кавказе Высокогорный геофизический институт совместно с французскими коллегами ведёт установку системы SAFIR. В Томской области на базе НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета летом 2008 г. были установлены грозопеленгаторы Boltek LD – 250 и Storm Tracker и получены первые результаты измерений. Система позволяет определить местоположение точки удара молнии в полярных координатах, время разряда молнии, а также отследить продвижение грозowych очагов. Необходимо отметить, что для построения климатических карт, объективно отражающих особенности пространственного распределения грозовой активности, потребуются данные наблюдений минимум за 10 лет. Однако потребителей

уже сегодня интересует мезомасштабно-пространственное распределение значений плотности разрядов молнии над конкретными районами. Например, для планирования грозозащитных мероприятий энергетических объектов необходимы детальные карты, отражающие пространственное распределение значений плотности разрядов молнии, их амплитуды и крутизны. Эти характеристики необходимы для практических расчетов величины индуктированных напряжений на конструкциях линий электропередачи, устройствах заземлителей, радиорелейных мачтах. Поскольку над значительной территорией нашей страны инструментальные наблюдения за грозами отсутствуют, необходимо разрабатывать косвенные методы, позволяющие оценить грозоопасность той или иной территории не только на качественном уровне.

Целью настоящего исследования является определение пространственного распределения плотности разрядов молний в землю для территории Западной Сибири на основе использования информации, получаемой с искусственных спутников Земли.

Построение такой карты представляется возможным на основе сравнения результатов спутниковых и наземных инструментальных наблюдений над разрядами молнии. Для отработки предлагаемого метода и проверки его на пригодность выбрали территорию Германии, на которой действуют как наземная система местоопределения молний, так и система регистрации из космоса. На первом этапе сравнивались данные спутниковых и наземных наблюдений над разрядами молний и строились уравнения регрессии между анализируемыми характеристиками. На втором этапе полученные результаты применялись для построения карты-схемы плотности разрядов молнии в землю для Томской области, которая сравнивалась с картой, построенной ранее другим методом. На третьем этапе разработанный, проверенный и запатентованный метод [2. С. 1–8] применялся для определения значений плотности разрядов молнии над другими территориями Западной Сибири.

Материалом для исследований послужили ежедневные данные о количестве разрядов молнии в землю, полученные наземной многопунктовой системой местоопределения молний LPATS (Lightning Position And

Tracking System) и предоставленные компанией Siemens AG (Германия). В системе LPATS используется метод определения расстояния до грозового разряда по разности времени прихода сигнала на разнесенные антенны (метод TOA – time-of-arrival) [3. С. 41]. Дополнительно используется новый метод «совмещенной технологии для улучшения точности» (IMPACT – Improved Accuracy from Combined Technology), комбинирующий метод TOA и пеленгационный – определения азимута местоположения грозового разряда. Система состоит из тринадцати приемников, удаленных друг от друга на расстояние от 200 до 300 км, соединенных линиями связи с центральным процессором; системы отображения информации и навигационного спутника, с помощью которого происходит синхронизация времени на субмикросекундном уровне. Внутри исследуемой территории точность измерений достигает 250 м и уменьшается на ее границах до 1000 м. Эффективность определения наземных молний достигает 85–90%. С помощью системы можно определить координаты точки удара молнии (широта и долгота), полярность и амплитуду тока молнии между облаком и землей.

В качестве информации о количестве молний, зарегистрированных из космоса, служили ежедневные данные наблюдений спутника «Microlab-1», принадлежавшего NASA и действовавшего в период 1995–1999 гг. [4]. Полярно-орбитальный спутник регистрировал разряды молнии над территориями, расположенными между 80° северной и южной широты, с помощью специального детектора OTD (Optical Transient Detector). Высота орбиты полета спутника достигала 740 км, под наблюдением находилась территория земной поверхности в виде квадрата со стороной 1300 км, пространственное разрешение составляло 10 км. Каждые 100 мин спутник освещал территории, выбранные для настоящих исследований. По техническим причинам детектор OTD вел съемку только в 70% дней из 460. Поэтому к значениям количества разрядов молнии было необходимо ввести поправку на количество пропущенных дней в регистрации гроз. Для этого производились вычисления по формуле

$$K_{\text{исп}} = K_{\text{нач}} (1 + n / 92), \quad (1)$$

где $K_{\text{исп}}$ – исправленное значение количества разрядов молнии за год; $K_{\text{нач}}$ – начальное значение количества разрядов молнии за год; n – количество пропущенных дней за год; 92 – сумма всех летних дней за год.

Например, летом 1995 г. спутником было зарегистрировано 2294 разряда молнии ($K_{\text{нач}}$), но 7 из 92 дней спутник не вел съемку, поэтому после введения поправки $K_{\text{исп}}$ составило 2469 разрядов.

Таким образом, за 5 лет для территории Германии была собрана информация о молниях, зарегистрированных как из космоса, так и наземной системой грозопеленгации. Для большей территории России информация спутника была единственным способом получения данных о молниях, регистрируемых с помощью технических устройств, а не визуально-слуховым методом.

Для сравнения результатов спутниковых ($N_{\text{спут}}$) и наземных ($N_{\text{наз}}$) наблюдений над молниями территории Германии была разбита меридианами и параллелями на ячейки с шагом в 1° по широте и долготе. Данные о количестве разрядов молний, зарегистрированных из

космоса, для каждой ячейки были доступны с официального сайта NASA [4]. Количество разрядов молний над каждой из трапеций пересчитывалось в плотность разрядов молнии в землю на 1 км² за год. Поскольку рельеф Германии чрезвычайно разнообразен, выделенные ячейки были отнесены к трем видам рельефа: равнинный (с высотой не более 300 м над ур. м.), горный рельеф (с высотами более 1000 м над ур. м.) и возвышенности (от 300 до 1000 м над ур. м.). Наибольший интерес представлял анализ равнинной территории, т.к. в дальнейшем полученные результаты применялись к равнинной территории Томской области. Было обнаружено, что для выделенных равнинных участков коэффициент корреляции между $N_{\text{наз}}$ и $N_{\text{спут}}$ составил 0,93 и значим с вероятностью не менее 95%. В результате для равнинных территорий было построено линейное уравнение регрессии, позволяющее оценить плотность разрядов молнии в землю по результатам спутниковых наблюдений:

$$N_{\text{оцен}} = 244,58 \cdot N_{\text{спут}} + 0,46. \quad (2)$$

Для территории Томской области данные сайта NASA [4], содержащие информацию о количестве разрядов молний для каждой из ячеек сетки с интервалом в 1° по широте и долготе, пересчитывались в значения плотности разрядов молний на 1 км² за год ($N_{\text{спут}}$). Полученные значения подставлялись в уравнение (2) для оценки пространственного распределения плотности разрядов молний в землю на равнинных территориях Томской области. В результате расчетов были получены значения плотности разрядов молнии в землю для всех ячеек с шагом в 1° и построена оценочная карта-схема плотности разрядов молнии в землю для всей территории Томской области (рис. 1). Полученная карта-схема была сравнена с картой, построенной ранее по результатам инструментальных измерений с помощью счетчиков молний. Заметим, что инструментальные наблюдения над разрядами молнии осуществлялись на 10 метеорологических станциях Томской области в течение грозовых сезонов 1985–1988 гг. Счетчики, регистрирующие молнии в радиусе 10 км от станций, разработаны в НИИ ВН ТПУ и описаны в авторском свидетельстве [5. С. 1–4]. В результате сравнения оказалось, что карта-схема, построенная на основе спутниковой информации, хорошо согласуется и конкретизирует карту, опубликованную в [5. С. 4; 6. С. 127]. При этом спутниковая информация о молниях оказалась более подробной, поскольку оценка значений плотности молний производилась для ячеек с шагом 1° по широте и долготе, т.е. в среднем для участков с площадью 6 400 км², а карта [5. С. 4] строилась по результатам регистрации десяти счетчиков, т.е. в среднем по одному счетчику на участок площадью 32 000 км².

Для Томской области плотность разрядов молнии в землю изменяется от 0,8 до 2,2 разр./км² год при среднем значении 1,3. Повышенная плотность разрядов молнии в землю отмечается в двух районах: первый – в междуречье Оби и Чулыма; второй – в долине р. Обь от п. Александровское на юго-восток. Пониженная плотность отмечается в следующих районах: в окрестностях п. Пудино, между п. Белый Яр и п. Ванжиль-Кынак, а также на юго-восточной окраине Томской области в районе п. Тегульдэт.

области распределялась следующим образом: максимальное значение плотности разрядов молний в землю наблюдалось на северо-западе области в районе Анжеро-Судженска и Мариинска; минимальное значение плотности разрядов молнии наблюдалось на юго-востоке области, в районе п. Таштагол. В общем, по территории области значения плотности разрядов уменьшались в направлении с северо-запада на юго-восток.



Для юга Тюменской области значения плотности разрядов молний изменялись от 0,9 до 2,8 разр./км²год. Самые высокие значения плотности разрядов молнии были приурочены к заболоченному северу (в окрестностях населенного пункта Уват – 2,5 разр./км²год), а также к крупным рекам, например в пункте Вагай, расположенном на реке Иртыш, – 2,8 разр./км²год.

Орография также вносит свой вклад в распределение плотности разрядов молнии. На севере рассматриваемой территории кроме болот располагается возвышенность Тобольский Матвик, которая способствует увеличению грозовой активности.

Самые низкие значения плотности разрядов молнии относились к менее увлажненным территориям, например район на юго-западе от г. Заводоуковска 1,2 разр./км²год, юго-западная часть области – 1,3, район восточнее п. Большое Сорокино – 1,0 разр./км²год. Кроме того, необходимо учитывать близость Казахстана, горячие ветры которого, проникая на территорию Тюменской области, высушивают и без того мало насыщенную влагой подстилающую поверхность, создавая неблагоприятные условия для развития конвективной облачности.

Над территориями Алтайского края и Республики Алтай значение плотности разрядов молнии изменялись от 1,5 до 3,5 разр./км²год. Наибольшая плотность наблюдалась на территории Алтайских гор на высоте 2000–3000 м над ур. м. в районе п. Шебалино. А наименьшее значение плотности – на северо-западе исследуемой территории.

В целом, анализируя распределение плотности разрядов молнии в землю для всей южной территории Западной Сибири, можно отметить, что наибольшие значения (3,5 разр./км²год) характерны для южной части территории (Республика Алтай), в то же время довольно высокие значения, до 2,8 разр./км²год, зафиксированы и для более северной Тюменской области. Вышеуказанное подтверждает значительную очаговость грозовой активности, которая обусловлена не только широтой места, но, в значительной мере, и местными особенностями рельефа, направлением воздушных потоков, состоянием подстилающей поверхности и другими факторами.

Однако потребителей интересует не только пространственное распределение плотности разрядов молнии в землю, но и оценка максимально возможных зна-

чений плотности. Эта информация необходима для проведения молниезащитных мероприятий. На примере Томской области была проведена приблизительная оценка максимально возможных значений плотности разрядов молнии в землю ($N_{\max}$) по следующей формуле:

$$N_{\max} = N_{\text{ср}} + \Pi_{\text{сум}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{ср}}$ – средняя плотность разрядов молнии в землю; $\Pi_{\text{сум}}$ – суммарная поправка на годовой и суточный ход.

В качестве максимально возможной плотности разрядов молнии в землю была представлена плотность за июль, т.к. в июле среднее годовое количество разрядов молнии было наибольшим (таблица).

Средние годовые характеристики спутниковых наблюдений за разрядами молний для Томской области

Период	Количество разрядов молний
Июнь	260
Июль	760
Август	650
Летний период	560

В июле количество разрядов молнии на 35% превосходит среднегодовое значение. Следовательно, поправка на годовой ход составляет 1,35.

В суточном ходе максимальные значения количества разрядов молнии в землю, как по спутниковым, так и по данным грозопеленгаторов, отмечаются в 16 ч локального времени. Спутник «Microlab-1» облетал землю за 100 мин, значит, за одни сутки спутник пролетал над территорией Томской области до 4 раз. За рассмотренный пятилетний период спутник регистрировал молнии, как в дневное, так и в ночное время. Несмотря на дискретный характер наблюдений, отчетливо вырисовывается суточный ход количества разрядов молнии. Для Томской области по данным детектора ОТД максимум во временном ходе наступал в 16 ч локального времени, дополнительно спутник регистрировал вторичный максимум в 18 ч (рис. 3). Для Томской области в среднем для каждого часа суток регистрировалось около 350 разрядов. В 16 ч локального времени отмечалось максимальное количество разрядов – около 1800, что в 5 раз больше, чем в среднем для остального времени суток. Следовательно, поправка на суточный ход принималась равной 5.

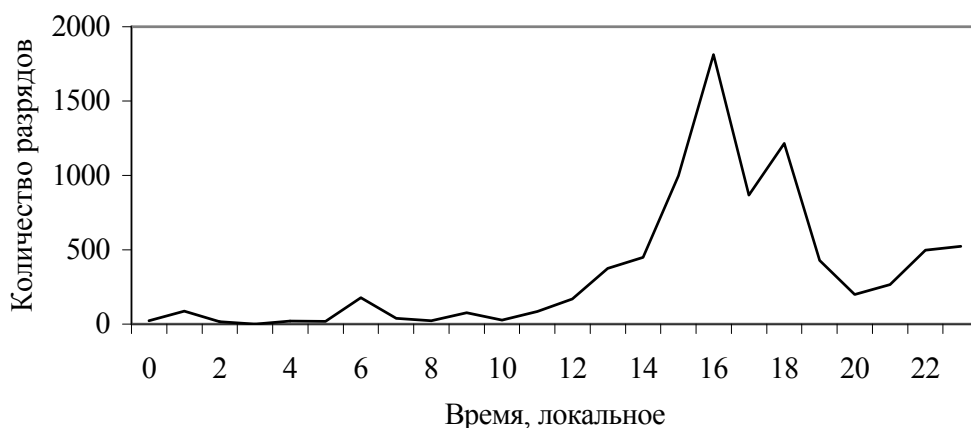


Рис. 3. Суточный ход количества разрядов молнии, зарегистрированных спутником над Томской областью

Учитывая вышесказанное, максимальные значения плотности разрядов молнии в землю можно ожидать около 16 ч в июльский день. Следовательно, $P_{\text{сум}}$ равна сумме поправок на суточный и годовой ход и составляет 6,5 разр./км²год. Таким образом, максимально возможные значения плотности разрядов молнии в землю для Томской области в шесть раз могут превышать средние значения.

На основании приведенного материала можно заключить, что использование откорректированной спутниковой информации о молниях с достаточно хорошей точно-

стью можно использовать для оценки пространственного распределения плотности разрядов молнии в землю для территорий, неоснащенных инструментальными измерениями молниевой активности или только приступивших к измерениям. В дальнейшем требуется продолжение исследований с целью совершенствования методики и её приложения для других территорий Западной Сибири.

В подготовке базы данных и статистических расчетах активное участие приняли студенты кафедры метеорологии и климатологии ТГУ: Е.С. Морару, О.А. Штейнле, Е.В. Федосеева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 104 с.
2. Горбатенко В.П., Еришова Т.В. Способ определения плотности разрядов молнии в землю на территории умеренных широт Северного полушария / Патент Российской Федерации на изобретение № 2332693. Опубликовано 27 августа 2008 г.
3. LPATS IV Installation, Operation, and Maintenance Manual. 40176 REV 9810. Global Atmospherics, Ins., USA, 1998. 76 p.
4. *Lightning and Atmospheric Electricity Research at the GHCC*. Режим доступа: <http://thunder.msfc.nasa.gov/data>, свободный.
5. Раков В.А. Способ определения распределения годовой плотности разрядов молний в землю на исследуемой территории / Патент SU № 1812537A1. Опубликовано 30.04.1993 г. С. 1–4.
6. Горбатенко В.П., Дульзон А.А. Результаты исследования грозовой активности над территорией Томской области // Известия ТПУ. 2006. № 2. С. 126–130.

Статья представлена научной редакцией «Науки о земле» 21 сентября 2009 г.