

**Конкурс по астрономии и наукам о Земле. Ответы.**

Из предложенных 7 заданий рекомендуется выбрать самые интересные (1–2 задания для 8 класса и младше, 2–3 для 9–11 классов). Перечень вопросов в каждом задании можно использовать как план единого ответа, а можно отвечать на все (или некоторые) вопросы по отдельности.

Ответы снабдите разумным количеством примеров и пояснений по вашему выбору. За ответы на дополнительные вопросы и дополнительные примеры к оценке правильного ответа добавляются дополнительные баллы.

1. 19 ноября 2011 года мы будем торжественно отмечать 300-летие великого русского учёного Михаила Васильевича Ломоносова. Какие его достижения в области астрономии и наук о Земле вы знаете?

*Предполагаемый ответ.*

Ломоносов проявлял большой интерес к исследованиям по оптике и астрономии и в этих областях сделал значительные открытия. Предложил в 1762 новую систему телескопа-рефлектора, в котором вогнутое зеркало слегка наклонено к оси трубы. Аналогичная идея только в 1789 была независимо выдвинута В. Гершелем (этот тип телескопа теперь называется системой Ломоносова — Гершеля). Занимался разработкой «ночезрительной трубы», позволяющей более отчётливо видеть предметы при слабом ночном освещении, новых мореходных инструментов и других оптических приборов. Первым в России начал развивать фотометрические методы.

В 1757–1765 Ломоносов занимался астрономическими исследованиями. На основе своих представлений о природе электричества выдвинул оригинальную теорию строения и состава комет, в которой подчёркивается роль электрических сил в свечении хвоста и головы кометы. В 1761 году наблюдал в телескоп редкое явление прохождения Венеры по диску Солнца. Описал детали этого явления в работе «Явление Венеры на Солнце, наблюденное в С.-Петербургской императорской Академии наук мая 26 дня 1761 года». При этом он правильно истолковал замеченное помутнение края солнечного диска при первом контакте и образование светящегося «пузыря» при третьем контакте как результат наличия атмосферы у планеты. Это открытие было замечательным подтверждением коперниканских идей о том, что в природе существуют планеты, подобные нашей Земле.

Ломоносов был горячим сторонником идеи о множественности обитаемых миров. Уделял большое внимание проблеме природы тяготения, вопросу о пропорциональности массы тел и их веса, изучению силы тяжести с помощью специальных маятников и других приборов. С помощью разработанной им конструкции маятника, позволявшей обнаруживать крайне малые изменения направления и амплитуды его качаний, Ломоносов осуществил длительные исследования земного тяготения. Положил начало развитию в России гравиметрии.

Значительное внимание Ломоносов уделил исследованиям атмосферного электричества, проводившимся им совместно с Г. В. Рихманом. Ломоносов

и Рихман придали своим экспериментам количественный характер, разработав для этой цели специальную аппаратуру — «громовую машину».

Ломоносов уделял значительное внимание развитию в России геологии и минералогии и лично произвёл большое количество анализов горных пород. Он доказывал органическое происхождение почвы, торфа, каменного угля, нефти, янтаря. В своём «Слове о рождении металлов от трясения Земли» (1757) и в работе «О слоях земных» (ок. 1750-х, опублик. 1763) он последовательно проводил идею о закономерной эволюции природы и фактически применял метод, впоследствии получивший в геологии название актуализма. «... Напрасно многие думают, что все, как видим, сначала Творцом создано, — писал Ломоносов, — ... Такие рассуждения весьма вредны приращению всех наук...» В этой же работе Ломоносов приводил доказательства существования материка на Южном полюсе Земли.

В 1758 Ломоносову было поручено «смотрение» за Географическим департаментом, Историческим собранием, Университетом и Академической гимназией при Академии Наук. Основной задачей Географического департамента было составление «Атласа Российского». Ломоносов разработал обширный план получения как физико-географических, так и экономико-географических данных для составления «Атласа» с помощью организации географических экспедиций, а также обработки ответов на специальные анкеты, разосланные в различные пункты страны.

В «Рассуждениях о большой точности морского пути» (1759) Ломоносов предложил ряд новых приборов и методов для определения долготы и широты места. В этом сочинении он впервые внёс предложение об организации международной Мореплавательской академии для совместного решения наиболее важных научно-технических проблем мореплавания. Ломоносов исследовал морские льды и дал первую их классификацию. Он неоднократно подчёркивал политическую и хозяйственную важность для России освоения Северного морского пути. Написал «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» (1762–1763) и «прибавление» к этой работе «О северном мореплавании на Восток по Сибирскому океану» (1764), сопроводив его «примерной» инструкцией «морским командующим офицерам». Он предвидел, что «России могущество будет прирастать Сибирью».

Ломоносов — основоположник материалистического естествознания в России. Он боролся против метафизической ограниченности современного ему естествознания и неоднократно высказывался в защиту идеи о закономерном развитии всей природы. В работе «О слоях земных» (1763) писал: «... Твёрдо помнить должно, что видимые телесные на Земле вещи и весь мир не в таком состоянии были с начала от создания, как ныне находим, но великие в нём происходили перемены». Свои взгляды на строение Вселенной, природу Солнца неоднократно высказывал в замечательных по глубине поэтических произведениях. Некоторые идеи и прозрения Ломоносова на века опередили своё время (см. <http://www.lomonosow.org.ru/lib/sa/author/100002>, <http://www.astronet.ru/db/msg/1219876>).

**2.** На Северном полюсе Земли завтра, 26 сентября, закончится полярный день, который начался ещё 18 марта (191 сутки). На Южном полюсе день длится с 21 сентября по 23 марта (182 суток). Сколько длится полярная ночь? Почему на Северном полюсе полярный день длиннее, чем на Южном? Какие полярные дни и ночи на Луне? На Марсе?

*Предполагаемый ответ.*

Полюса Земли, как известно, – это условные точки, соответствующие пересечению её поверхности осью вращения. Географическая широта полюса равна  $\pm 90^\circ$ . При этом на географических полюсах Земли небесный полюс мира совпадает с местным зенитом, а небесный экватор — с местным горизонтом (без атмосферы). Соответственно, на полюсах Земли солнце в течение суток не совершает восхода и заката, а обращается вокруг зенита (вдоль горизонта по всем азимутам) на одной высоте. При этом высота солнца над горизонтом количественно равна склонению Солнца на небесной сфере. Высота солнца над горизонтом (как и склонение Солнца) на протяжении года на Северном полюсе плавно изменяется от  $+23,5^\circ$  (летнее солнцестояние) до  $-23,5^\circ$  под горизонтом (зимнее солнцестояние). Продолжительность полярного дня (солнце над горизонтом) и полярной ночи (солнце под горизонтом) определяется прежде всего интервалами времени между весенним и осенним равноденствиями, т. е. датами, когда Солнце пересекает небесный экватор внизу вверх или сверху вниз.

Интервалы между равноденствиями отличаются на 7 дней: от весеннего (21 марта) до осеннего (23 сентября) проходит 186 дней; от осеннего до весеннего — 179 дней. Соответственно, и полярный день на Северном полюсе Земли тоже длится дольше, чем на Южном. Разница интервалов между равноденствиями (т. е. между длительностью летнего и зимнего полугодий) возникает из-за некруговой формы орбиты Земли и неравномерной скорости движения Земли по орбите. Орбита Земли имеет форму эллипса с эксцентриситетом 0,0167, расстояние от Солнца до Земли изменяется от 147,5 млн. км в перигелии до 152,5 млн. км в афелии. Перигелий Земля проходит 2–4 января, а афелий 4–7 июля. По законам Кеплера изменяется и скорость движения Земли по орбите: от 30,27 км/сек в перигелии до 29,27 км/сек в афелии. Поэтому Земля проходит зимнюю половину своей орбиты, более близкую к Солнцу, быстрее, чем летнюю половину<sup>1</sup>.

Кроме неравномерности орбиты на длительность светового дня оказывает своё влияние и атмосфера Земли. За счёт рефракции (преломления света в нижних слоях атмосферы) все небесные светила около горизонта кажутся приподнятыми вверх относительно своего истинного положения. Угол атмосферной рефракции около горизонта достигает  $0,5^\circ$ , поэтому светило, в реальности уже опустившееся на этот угол ниже горизонта, мы всё ещё видим на горизонте. Кроме этого, само Солнце на небе не является точкой, а имеет угловой диаметр около  $0,5^\circ$ . Поскольку в периоды около равноденствий Солнце опускается или поднимается по склонению примерно

на  $0,4^\circ$  в сутки, то за счёт рефракции и углового размера Солнца световой полярный день продлевается ещё почти на 2,5 суток весной и осенью.

Итого на Северном полюсе Земли полярный день длится 191 сутки и полярная ночь 174 суток, а на Южном полюсе — полярный день 182 суток и полярная ночь — 183 суток.

Луна движется вокруг Земли по орбите, наклонённой относительно эклиптики на угол от  $4^\circ 59'$  до  $5^\circ 19'$ , причём её оборот вокруг своей оси совпадает с периодом обращения вокруг Земли. При этом ось собственного вращения Луны наклонена к плоскости лунной орбиты (угол между осью и плоскостью  $83^\circ 19'$ , а не  $90^\circ$ ) и в течение одного оборота приблизительно сохраняет своё направление в пространстве, т. о. либрация Луны по широте достигает  $6^\circ 41'$ . Соответственно, Луна вращается вокруг своей оси, ориентированной почти перпендикулярно плоскости эклиптики и падающим лучам Солнца (при этом обращаясь по орбите вокруг Земли). Явление полярного дня (или ночи) захватывает только малую область примерно  $1,5^\circ$  вокруг полюсов Луны (размером около 90 км), а его длительность составляет половину оборота Земли вокруг Солнца, т. е. половину земного года. Столь малый угол изменения высоты Солнца над горизонтом Луны позволяет центральным частям кратеров на полюсах Луны оставаться вечно в тени; туда никогда не проникают лучи Солнца, и такие кратеры служат в качестве «холодных ловушек» для летучих соединений от падающих на Луну комет (см.: <http://www.astronet.ru/db/msg/1251383>).

Наклонение орбиты Марса вокруг Солнца составляет всего  $1,85^\circ$ , однако наклон его оси вращения  $24,94^\circ$  (угол между осью вращения и перпендикуляром к плоскости орбиты). Наклон оси вращения Марса обеспечивает смену времён года (марсианский год = 686,98 земных дней), причём полярные области на Марсе даже больше, чем на Земле. Поскольку эксцентриситет орбиты Марса составляет 0,094, что значительно больше земного, то и разница в длительности двух полугодий будет также больше. Так, северная весна и лето, вместе взятые, длятся 371 день, то есть заметно больше половины марсианского года. В то же время, они приходятся на участок орбиты Марса, более удалённый от Солнца. Поэтому на Марсе северное лето долгое и прохладное, а южное — короткое и жаркое. Полярные шапки Марса состоят из двух составляющих: сезонной — углекислого газа, и вековой — водяного льда. Во время зимы на Марсе идёт снег из  $\text{CO}_2$ , и 20–30 процентов всей атмосферы Марса намораживается на его полярной шапке. На южной полярной шапке Марса обнаружены действующие гейзеры: струи углекислого газа с весенним потеплением вырываются вверх на большую высоту (см. <http://lenta.ru/news/2011/08/08/mars> и [http://ru.wikipedia.org/wiki/Марс\\_\(планета\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Марс_(планета))).

**3.** Сколько на звёздной карте можно насчитать «рогов и копыт»?

*Предполагаемый ответ.* Как многие правильно догадались, в данном случае не идёт речь о реально существующих рогах и копытах — это атрибуты известных нам животных, живущих на Земле. Однако, на звёздной карте неба присутствует множество названий животных (как подобных

<sup>1</sup>Имеются ввиду зима и лето Северного полушария.

реальным, так и мифических), и даже имена героев, у которых, как у художественного образа, могут быть воображаемые и рога («р»), и копыта («к»). Ниже эти названия перечислены, причём при подсчёте числа «копыт» учитывалось, является ли реальный прообраз конкретного названия животным парно- или непарнокопытным (например: конь — 4 копыта; корова — 4 парных копыта, всего 8 копыт). Кроме этого, Телец и Козерог на небе изображены в виде передней половины соответствующих парнокопытных животных, им засчитано по 4 копыта.

*Созвездия современные*

Единорог (1р4к)  
Жираф (2р8к)  
Козерог (2р4к; парнокопытный, половина)  
Малый Конь (0р4к)  
Овен (2р8к)  
Пегас (0р4к)  
Стрелец/Кентавр (0р4к)  
Телец (2р4к)  
Центавр/Кентавр (0р4к)

*Созвездия Древнего Египта*

Мес/Нога Быка (0р2к)  
Исида/на Рогах Коровы (2р8к)

*Созвездия Древнего Китая<sup>2</sup>*

Цзюэ/Рог (1р0к)  
Тянь-сы /Четвёрка небесных лошадей (0р16к)  
Небесная конюшня и небесные кони (0р?к)  
Небесная телега, сбруя и конь (0р4к)  
У-цзюй/Пять колесниц (0р20к)  
Повозка Небесного Императора (0р12к)

*Созвездия Древней Америки*

*Звёзды-имена:* Капелла/Коза (2р8к), Мицар/Конь (0р4к), Козлёнок/Полярная (2р8к).

*Астеризмы* Козлята, Ослята.

«Рожки» месяца Луны, Венеры, Солнца при частном затмении.

---

4. В 1959 году А. П. Капица (1931–2011) открыл необычное озеро на глубине несколько километров(!). Как оно было открыто и в чём его уникальность? Почему это событие считается одним из крупнейших географических открытий второй половины XX века? Какое значение имеет это открытие для изучения планеты Земля и Солнечной системы в целом?

*Предполагаемый ответ.*

1. **Андрей Петрович Капица** — член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой рационального природопользования географического

<sup>2</sup>См. также <http://www.zvezdi-oriona.ru/56586.htm>

факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, доктор географических наук, родился 9 июля 1931 г. в Кембридже (Великобритания), скончался в Москве 2 августа 2011 г. на 81-м году жизни. Его отец — Пётр Капица (1894–1984), директор института физических проблем АН СССР, академик АН СССР, лауреат Нобелевской премии по физике. А. П. Капица в 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию «Морфология ледникового покрова Восточной Антарктиды»; в 1965 г. — докторскую диссертацию «Подлёдный рельеф Антарктиды». Андрей Капица участвовал в четырёх Советских Антарктических экспедициях (1955–1964), где прошёл три санно-гусеничных похода. Во время этих экспедиций он провёл измерения толщины ледникового покрова Антарктиды, на базе которых им была создана карта рельефа подлёдного ложа Антарктиды. В 1966–1970 гг. Андрей Капица был деканом Географического факультета МГУ. В 1967–1969 гг. возглавлял Восточно-Африканскую Комплексную экспедицию по изучению рифтовых зон Африки. В 1972 г. Андрей Капица создал во Владивостоке Тихоокеанский институт географии ДВНЦ АН СССР и стал его первым директором. В 1996 г., совместно с британскими учёными, профессором Капицей сделано крупное географическое открытие: было открыто подлёдное озеро Восток в Антарктиде<sup>3</sup> (20 июня 1996 г.). Гипотеза о возможности существования этого озера была выдвинута Андреем Петровичем ещё в 1957 г. Это открытие считается одним из самых значительных географических достижений XX века.

2. **Озеро Восток** — крупнейшее подлёдное озеро в Антарктиде. Озеро расположено в районе антарктической станции «Восток» (77° южной широты, 105° восточной долготы) под ледяным щитом толщиной около 4000 м и имеет размеры приблизительно 250 × 50 км. Предполагаемая площадь 15,5 тыс. км<sup>2</sup>. Глубина более 1200 м. Озеро Восток уникально прежде всего тем, что, возможно, находилось в изоляции от земной поверхности на протяжении сотен тысяч лет. Естественным изолятором озера служил и служит четырёхкилометровый ледяной панцирь над ним. Как полагают учёные, в водах озера могут обитать живые организмы, ибо в нём имеются все необходимые для жизни факторы:

— Пресная вода, содержание кислорода в которой примерно в 50 раз выше, чем в обычной пресной воде. Кислород в воды озера доставляют постепенно опускающиеся в глубины верхние слои льда.

— Температура воды весьма высокая — не менее +10 °С в глубине. Тепло озеро получает, скорее всего, от подземных геотермальных источников. Температура на границе вода-лёд составляет –3,2 °С.

— Давление воды в озере, согласно расчётам, более 300 атмосфер (давление создаётся толщей льда), но микроорганизмы могли приспособиться к таким условиям.

Микроорганизмы, приспособленные к жизни в таких удивительных условиях, изолированные от земной биосферы (а значит и эволюционные процессы там протекали по-другому), могут обладать уникальными свой-

<sup>3</sup>См. <http://ria.ru/ecoinfogr/20110201/328989174.html>

ствами. Название озеро получило от советской (теперь российской, с международным экипажем) научной станции «Восток»<sup>4</sup>, работающей в этом районе с 1957 года. Открытие озера Восток — одно из крупнейших географических открытий второй половины XX века. Всего на 2007 год в Антарктике обнаружено более 140 подледниковых озёр.

См. также:

<http://eco.ria.ru/ecoinfogr/20110201/328989174.html>

[http://ru.wikipedia.org/wiki/Восток\\_\(озеро\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Восток_(озеро))

3. Мысль о том, что при очень большой толщине ледника температура у его нижней границы может стать равной температуре плавления льда, известна с конца XIX века. Центральные области ледникового покрова Антарктиды находятся в условиях, когда отвод тепла от нижней поверхности ледника вверх из-за большой его толщины очень мал. В связи с этим часть геотермического потока должна постоянно затрачиваться на непрерывное **таяние** у границы лёд/твёрдое ложе. Температура льда у его нижней границы равна температуре плавления ( $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при давлении у ложа более 300 атмосфер. Талая вода в виде сравнительно тонкой плёнки выдавливается в те места, где толщина ледника меньше, и намерзает там вновь, двигаясь к краям ледника уже в виде льда. В отдельных углублениях подледного ложа эта вода может скапливаться в виде озёр под самой толстой центральной частью Антарктического ледяного щита.

4. **Акустическое зондирование** ледникового щита под станцией Восток, проведённое под руководством А. П. Капицы в 1959 и 1964 годах позволило определить его толщину. При этом оказалось, что помимо главного пика отражения от дна ледника в приёмном сигнале выявлялся ещё один пик. Тогда он был интерпретирован как отражение от нижней границы слоя осадочных пород под ледником. Позже возникло предположение, что это был сигнал отражения от границы льда с водой. Существование озера, как и других подледных озёр, было предсказано (опираясь на данные исследований и теоретические обоснования) А. П. Капицей ещё в 1955–1957 годах, но считается, что само открытие произошло относительно недавно, в 1996 г., совместными усилиями российских и британских полярников.

5. В 1989 г. исследователями совместной экспедиции советских, французских и американских учёных на базе станции Восток было начато **бурение льда** с целью палеоклиматических исследований. Начиная с глубины 3539 м, достигнутой к 1996 г., химический и изотопный состав льда и его кристаллографическая структура существенно изменились — оказалось, что этот лёд представляет собой **замороженную воду** подледного озера. Бурение было проведено до глубины 3623 м. Образцы льда с этой глубины имели возраст около 420 тыс. лет, поэтому предполагается, что озеро было закупорено льдом не менее 500 тыс. лет назад. Бурение было приостановлено в 1999 г. приблизительно в 120 м от предполагаемой поверхности озера, чтобы не допустить загрязнения воды, которое может навредить уникальной экосистеме озера. 7 февраля 2011 года скважина была законсер-

<sup>4</sup>См. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Восток\\_\(научная\\_станция\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Восток_(научная_станция))

вирована до следующего года. Буровой снаряд был остановлен на отметке 3720 метров.

6. Хотя прямых свидетельств наличия жизни в озере Восток пока не получено, большинство исследователей считает, что в озере могут обитать **микроорганизмы**. Экосистема озера относится к субгляциальным (подледным) экосистемам, которые характеризуются крайне высокой степенью олиготрофности, то есть низкой концентрацией питательных веществ. Если жизнь в глубинах озера и есть, то образовать экосистему она может только при наличии притока энергии в химической форме (восстановленного неорганического субстрата), то есть начальными звеньями пищевых цепей экосистемы должны быть хемосинтезирующие организмы. Возможным аналогом могут послужить экосистемы абиссальных выходов минерализованных гидротермальных флюидов (чёрных и белых курильщиков), привязанных к разломам земной коры. Наличие или отсутствие источников таких субстратов весьма зависит от геологической природы озера Восток: если есть рифтовая впадина — флюиды могут поступать.

7. Лёд из верхних слоёв воды озера намерзает на подошву покрывающего его ледника. Естественно, что эти намерзшие слои стали объектом исследований для определения численности и состава микрофлоры озера. Во многих пробах льда из замороженных слоёв отмечается концентрация бактериальных клеток в  $10^2$ – $10^4$  бактерий на  $\text{см}^3$ ; некоторые исследователи показали наличие ДНК-последовательностей, близких к ДНК термофильных и хемотрофных **бактерий**, что может указывать на наличие очагов геотермальной активности в озере.

8. Условия в подледном водоёме Восток могут быть близки к условиям на Земле в период позднего протерозоя (750–543 млн. лет назад), когда несколько раз происходили глобальные **оледенения** земной поверхности, продолжавшиеся до 10 млн. лет (гипотеза «Земля-снежок»<sup>5</sup>).

9. Предполагается, что опыт исследования озера может быть полезен при исследовании спутников Юпитера Европы и Каллисто, и спутника Сатурна Энцелад, на которых, по некоторым гипотезам, существуют аналогичные образования. Это может стать одним из наиболее многообещающих проектов поиска внеземной жизни. Европа рассматривается в качестве одного из основных местоположений Солнечной системы, где возможна внеземная жизнь. Жизнь может существовать в подповерхностном океане, в окружающей среде, вероятно, похожей на земные глубоководные гидротермальные источники или антарктическое озеро Восток. Жизнь в таком океане, возможно, была бы подобна микробной жизни в глубоком океане Земли. В настоящее время не существует никаких прямых доказательств существования жизни на Европе, но вероятное присутствие жидкой воды побуждает отправлять туда для более пристального изучения научные исследовательские экспедиции.

**Дополнение.** Предлагаю это задания участникам Турнира, организа-

<sup>5</sup>См. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Земля-снежок>

торы дали школьникам возможность не только самостоятельно порассуждать на предложенную тему, но и впоследствии проверить свои рассуждения, сопоставив их с фактическими научными результатами.

К времени проведения Ломоносовского Турнира 25 сентября 2011 года бурение скважины к подлёдному озеру Восток находилось на завершающем этапе. Очередной этап бурения был успешно завершён 5 февраля 2012 года — скважина достигла воды озера Восток.

Но образцы воды из озера пока ещё не получены и не исследованы. Сейчас учёные ждут, пока вода, попавшая из озера в скважину, замёрзнет. Потом по этом участку скважины проведут бурение ещё раз и возьмут образовавшийся лёд для исследования. Это делается для того, чтобы избежать непосредственного контакта с водой озера и не занести в неё с поверхности земли живые организмы, а также не загрязнить озеро веществами, использовавшимися при бурении.

Работы в Антарктиде проводятся только зимой (точнее, когда у нас в Северном полушарии зима, а там — в Южном полушарии — лето). В остальное время в Антарктиде слишком холодно, такая погода для работы не годится. Первые образцы льда из замороженной воды озера Восток планируется получить только через 2 года — зимой 2013/2014 года (для того, чтобы изготовить необходимое оборудование, доставить его в Антарктиду и выполнить все работы, необходимые для забора проб воды, одного рабочего сезона оказывается недостаточно). Вот тогда мы и узнаем много интересного о составе воды реликтового озера, о том, есть ли там жизнь и какая она, и сможем проверить другие предположения, которые сделали участники Ломоносовского турнира 25 сентября 2011 года.

---

5. Что самое горячее (на Земле и во Вселенной)? А что самое холодное?

*Предполагаемый ответ.*

1. **Климатические зоны Земли** в зависимости от широты и угла падения лучей Солнца: (полюс — экватор) холодный, умеренный, жаркий пояс.

2. **На поверхности Земли:** Полюса жары —  $+58\text{ }^{\circ}\text{C}$  в Эль-Азизии, Ливия,  $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$  в Долине Смерти (в Калифорнии) и  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$  в Аравийской пустыне; абсолютный рекорд жары для России ( $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) наблюдался в Нижнем Поволжье, близ солёных озёр Эльтон и Баскунчак. Полюс холода — центральные районы Антарктиды (станция Восток)  $-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в Северном полушарии самая низкая температура была зафиксирована в Верхоянске (Якутия):  $-69\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оболочка Земли, в пределах которой температуры обычно ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , называется криосферой. В тропиках она начинается на высоте ок. 4500 м, в высоких широтах (к северу и югу от  $60\text{--}70^{\circ}$ ) — от уровня моря. В приполярных районах на материках криосфера может простираться на несколько десятков или сотен метров ниже земной поверхности, формируя горизонт многолетней мерзлоты.

3. На планете Земля. **Атмосфера** — в мезопause (на высоте 80–90 км) температура уменьшается до  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в термосфере (высоты 100–800 км)

достигает 2000 градусов. В атмосферных электрических разрядах (грозовых молниях) могут кратковременно наблюдаться температуры  $25000\text{ }^{\circ}\text{C}$  и больше. В **гидросфере:** на экваторе наблюдаются наиболее высокие температуры поверхностных вод океана  $+28\text{...}+29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в морях, окружённых жаркими пустынями, ещё выше: в Красном море — до  $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в Персидском заливе — до  $+35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В гидротермальных источниках (термах) температуры воды  $+80\text{...}+95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в гейзерах на глубине 70–150 м вода перегрета до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В глубине океана, на глубинах ниже 3–4 километров температура колеблется в интервале  $+2\text{...}0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однако, непосредственно на дне океана температура воды, выходящей из чёрных курильщиков, достигает  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В **мантии** Земли: температура извергающейся лавы вулканов —  $+500\text{...}+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура у подошвы мантии (на глубине 2900 км) разными авторами оценивается цифрами  $+3000\text{...}+7000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура в центре ядра может достигать 7500 К, а это больше, чем температура поверхности Солнца.

4. Человечеством реализованы технические параметры нагрева до  $10^8\text{ К}$  (термоядерный синтез) и охлаждения до  $10^{-6}\text{ К}$  (физика сверхнизких температур).

5. На **Солнце:** температура поверхности (фотосфера) — в среднем 5760 К, в ядре Солнца — более 14 миллионов градусов, в короне Солнца — до 5 млн. градусов.

6. **Планеты** Солнечной системы извне нагреваются излучением Солнца. На Меркурии наблюдаются самые резкие перепады температур поверхности за счёт близости его к Солнцу, медленного вращения и крайне слабой атмосферы:  $+426,9\text{...}-183,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На Венере определяющим является парниковый эффект её атмосферы: температура на поверхности — около 750 К ( $+475\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). На Луне днём поверхность накаляется до  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но в тени она остывает до  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На Марсе температура колеблется от  $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$  на полюсе зимой и до более  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на экваторе в полдень. Чем дальше планета от Солнца, тем холоднее её поверхность. На верхнем слое облаков Юпитера температура  $-107\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поверхность Ио вымерзает до  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , правда, для потоков извергающейся лавы на Ио характерна температура в 1300 К, а местами и в 1600 К. Ледяная кора Европы очень холодная:  $-150\text{...}-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура у поверхности Титана, спутника Сатурна,  $-170\text{...}-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ядра комет ещё холоднее (около 28 К, или  $-245\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), но по мере приближения к Солнцу они нагреваются до 330 К ( $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Температура поверхности кометы Галлея на расстоянии 0,8 а.е. от Солнца была примерно равна 360 К (или  $+87\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В то же время недра планет-гигантов разогреваются ещё сильнее, чем у Земли: у Юпитера температура ядра оценивается в 21000 К.

7. Звёзды. Существуют очень холодные звёзды, с температурой поверхности около 2000 К и даже менее (коричневые карлики) и очень горячие звёзды, с температурой до 50000 К (голубые гиганты). Поверхностная температура Солнца сейчас (жёлтый карлик) равна 5760 К, через 5 млрд. лет (красный гигант) — 3000 К, затем, ещё через 1 млрд. лет

(белый карлик) — 20000 К. Гелиевая звезда с тонкой водородной оболочкой может иметь эффективную температуру поверхности, достигающую почти 100000 К. Внутри протозвёзд повышение температуры в процессе гравитационного сжатия звезды продолжается до тех пор, пока температура в центре не поднимется до 10 млн. К; затем гравитационное сжатие будет остановлено начавшейся ядерной реакцией горения водорода. В процессе сгорания водорода температура ядра звезды остаётся относительно постоянной (15–20 млн. К).

Истощение запаса водорода приводит к остановке термоядерных реакций и сжатию звезды. Коллапс продолжается до тех пор, пока при температуре приблизительно в 100 миллионов градусов не начнутся термоядерные реакции горения гелия. В недрах массивных звёзд температуры могут быть значительно выше, чем в центре Солнца. При температуре до 200 млн. К гелий превращается в углерод и кислород, из которых впоследствии образуются более тяжёлые элементы: сера, кремний, фосфор и др. При температуре 3–4 млрд. К образуются элементы группы железа. Когда температура достигнет 6 млрд. К, механическое равновесие центральных областей звезды нарушается, и начинается быстрое сжатие в нейтронную звезду. При 20 млрд. К вещество звезды состоит уже из одних нейтронов и протонов. Когда плотность ядра повысится до  $10^{12}$ – $10^{13}$  г/см<sup>3</sup> (а температура 100–200 млрд. К), происходит взрыв сверхновой звезды.

8. Во время коротких всплесков радиоизлучения **пульсаров** их яркостная температура достигает значений  $10^{30}$ ... $10^{31}$  К, что означает генерацию радиоизлучения нетепловым образом — за счёт когерентного механизма синхротронного излучения.

9. **Планковская температура** — единица температуры в Планковской системе единиц, которая представляет фундаментальный верхний предел в квантовой механике  $T_p = 1,4 \cdot 10^{32}$  К. Бессмысленно рассуждать обо всём более горячем, выше этого значения всё превращается в энергию, так как все субатомарные частицы разрушаются. Это температура Вселенной в первый момент (Планковское время) Большого Взрыва в соответствии с текущими представлениями космологии. В процессе расширения Вселенной её температура уменьшается. **Реликтовый фон** — чёрнотельное однородное излучение со средней температурой 2,72 К, заполняющее Вселенную сейчас, спустя 13,7 млрд. лет.

6. 11 марта 2011 года произошло сильнейшее землетрясение в Японии (которое не было предсказано!). Действительно ли острова Японии сдвинулись на 20–40 м? Что такое землетрясение; в чём его причина и в чём опасность таких событий? Какие принятые меры безопасности себя оправдали; какие главные меры на будущее и где должны быть приняты?

*Предполагаемый ответ.*

Справка по <http://ru.wikipedia.org>: «Великое восточнояпонское землетрясение» — землетрясение магнитудой, по текущим оценкам, от 9,0 до 9,1 произошло 11 марта 2011 года в 14:46 по местному времени (8:46 по

московскому времени). Эпицентр землетрясения был определён в точке с координатами 38,322° с. ш. 142,369° в. д., восточнее острова Хонсю, в 130 км к востоку от города Сендай и в 373 км к северо-востоку от Токио. Гипоцентр наиболее разрушительного подземного толчка (произошедшего в 05:46:23 UTC) находился на глубине 32 км ниже уровня моря в Тихом океане. Это сильнейшее землетрясение в известной истории Японии и седьмое по силе за всю историю сейсмических наблюдений в мире. Однако по количеству жертв и масштабу разрушений оно уступает землетрясениям в Японии 1896 и 1923 (тяжелейшему по последствиям) годов. Землетрясение произошло на расстоянии около 70 км от ближайшей точки побережья Японии. Первоначальный подсчёт показал, что волнам цунами потребовалось от 10 до 30 минут, чтобы достичь первых пострадавших областей Японии. Через 69 минут (в 15:55 JST) после землетрясения цунами затопило аэропорт Сендай. Сразу после землетрясения учёные сделали прогноз, что в течение месяца после первого удара в Японии могут происходить землетрясения магнитудой выше 7.

Анимированная карта землетрясений марта 2011 г. показана на <http://www.youtube.com/watch?v=DsQwWc4YoLQ>

Прогнозированию землетрясений (ЗТ) был посвящен вопрос № 4 на Турнире имени М. В. Ломоносова 2010 г. Авторы никак не предполагали, что всего через полгода эта тема вновь станет столь актуальной. При этом ЗТ 11.03.2011 действительно не было предсказано инструментальными методами, хотя такие возможности существовали. Поэтому вопросы предвестников ЗТ и их прогнозирования в этот раз мы не рассматриваем.

Прямыми последствиями ЗТ являются разрушения зданий и сооружений, нарушение транспортной и коммуникационной инфраструктуры, человеческие жертвы и пострадавшие. В случае реализации угрозы цунами происходит ударное воздействие высоких волн на побережье и быстрое затопление обширных прибрежных территорий. Максимальная высота цунами 11.03.2011 достигала 40,5 м.

Меры безопасности при ЗТ можно разделить на пассивные, активные и организационные. Пассивные — принимаются задолго до ЗТ, исходя из ожидаемой для данной местности силы ЗТ. Это прежде всего сейсмостойкое строительство, сооружение защитных дамб от цунами. Активные — принимаются непосредственно в момент первичной регистрации ЗТ с целью минимизации ущерба. Это автоматические системы обнаружения очага ЗТ, расчёта его магнитуды, гипоцентра, скоростей распространения сейсмических волн и волн цунами, моментов прихода колебаний до важнейших промышленных и населённых центров, автоматическая оценка степени опасности и выдача сигналов тревоги по системам оповещения. В рамках активных мер при необходимости происходит автоматическое отключение особо опасных производств, таких как реакторы АЭС и химические производства, остановка транспорта, включаются резервные системы энергоснабжения, коммуникаций и др. К организационным мерам относятся регулярные учения спасательных служб и всего населения (см. <http://www.youtube.com/watch?v=zpnWB7M60Bs>,

<http://www.youtube.com/watch?v=DT9xMh2U18Y>), немедленное реагирование всех служб и систем на выданный сигнал тревоги ЗТ и цунами, принятие мер по эвакуации и спасению ещё до прихода реальных волн, немедленное развёртывание систем спасения и ликвидации прямых последствий, информационное обеспечение спасательных и восстановительных работ.

В случае ЗТ 11.03.2011 запас времени от момента регистрации события ЗТ в гипоцентре до прихода сейсмических колебаний в Токио (на расстоянии 373 км) составил около 90 секунд; волны цунами достигли берегов Японии через 10–30 минут после момента ЗТ и сигнала тревоги. Даже столь малое время упреждения при немедленном реагировании и быстрой эвакуации позволило сохранить большое количество жизней. Общее число жертв землетрясения составляет 15731 человек, 4532 человек числятся пропавшими без вести, 5719 человек ранены, спасены более 25000 человек, примерно 530000 человек размещены во временных укрытиях.

Сравнение ЗТ 11.03.2011 с Великим землетрясением Канто (01.09.1923) показывает величайшую роль именно сейсмостойкого строительства. В 1923 г. магнитуда ЗТ составила 8,3 (шкала логарифмическая), т. е. оно было почти в 10 раз слабее по амплитуде колебаний и в 30 раз слабее по выделенной энергии. Однако, число жертв в 1923 г. составило 174 тысячи погибших, ещё 542 тысячи — пропавших без вести, свыше миллиона остались без крова. Основная причина жертв тогда — разрушение зданий и пожары.

В 2011 г. большинство зданий и сооружений устояло; собственно разрушения от сейсмических колебаний и жертвы были незначительны, основной ущерб произошёл от последующего цунами. Соответственно, в будущем будет нужно сосредоточить больше усилий на строительстве защитных дамб по всему побережью.

См. также:

<http://www.youtube.com/watch?v=1tr6Kq6bUMk>

<http://www.youtube.com/watch?v=ACKMPD6MySs>

<http://www.youtube.com/watch?v=2XLqSvhS-Eg>

Сейчас человечество первый раз наблюдало (благодаря ТВ и Интернету), какие беды несёт катастрофическое цунами в технически развитой стране. Шок от увиденного ещё сыграет свою полезную роль в защите от будущих катастроф. В случае ЗТ 11.03.2011 ещё большую опасность представляют последствия аварии на АЭС, прежде всего взрывы и разрушения четырёх реакторов АЭС Фукусима, и последующее радиационное заражение воздуха, местности и океана.

В СМИ были сообщения, что в результате ЗТ якобы произошёл сдвиг Тихоокеанской плиты на восток на расстояние до 20 м, по другим оценкам сдвиг островов Японии составил 40 м на площади от 300 до 400 км в длину и 100 км в ширину. Также сообщалось, что в результате якобы перераспределения масс на поверхности Земли произошло смещение оси вращения Земли и изменения в скорости её вращения. Это не так, и последующие измерения параметров вращения Земли никаких изменений не выявили. На самом деле имеет место постоянное движение Тихоокеанской плиты на северо-запад со

скоростью 0,9 м/год. В Японском желобе происходит субдукция её (погружение) под Охотскую плиту, на которой расположены сами Японские острова. В зоне соприкосновения двух плит в течение нескольких десятилетий может накапливаться потенциальная энергия механического напряжения. Края обеих плит сжимаются, при этом островная дуга немного приподнимается, а океанская — опускается. После разрыва горных пород и высвобождения накопленной энергии в эпицентре в виде ЗТ, соприкасающиеся края обеих плит скачком смещаются в горизонтальном и вертикальном направлениях на величину в несколько метров или (как в данном случае) десятков метров. Но поскольку все плиты на Земле находятся на вязком основании мантии, то как все плавные деформации до ЗТ, так и быстрые сдвиги и сбросы после него, происходят в режиме взаимной компенсации. Все геодинамические движения и землетрясения являются для земного шара в целом внутренними силами, а момент импульса замкнутой системы сохраняется. Соответственно, никакие ЗТ или движения литосферных плит не могут изменить ни скорость вращения Земли, ни положение её оси вращения.

Число сильных ЗТ за историю наблюдений в масштабе Земли (в том числе исторических) не увеличивается. Никакого статистически значимого всплеска сейсмической активности в последнее время нет, да и раньше не было. Всё распределение укладывается в рамки обычной пуассоновской статистики, когда последующие события возникают без всякой корреляции с предшествующими.

Однако, увеличивается сейсмический риск ЗТ, зависящий не только от параметров самого землетрясения, но и от параметров территории, где оно происходит: плотность населения, тип застройки, наличие опасных производств и т. д. Основную роль здесь играют рост народонаселения (особенно в слаборазвитых странах) и урбанизация. В слаборазвитых странах урбанизации, как правило, сопутствует низкое качество строительства; следовательно, увеличивается риск разрушения зданий при ЗТ (пример — ЗТ на Гаити). Рост населения планеты приводит к тому, что люди всё активнее заселяют сейсмически активные регионы. Особо плотно при этом застраивается и побережье, а на побережье велик риск пострадать от цунами. Таким образом, возрастает число потенциальных жертв. По данным USGS, только за первое десятилетие нового столетия (без 2011 г.) погибло 647744 человека. При этом подавляющая часть смертей (когда счёт идет на десятки, а то и на сотни тысяч жизней) приходится на несколько сильнейших ЗТ (например, в случае Суматранского ЗТ 25.12.2004 от цунами погибло свыше 200 тысяч человек).

Самым сильным из известных землетрясений считается Чилийское событие 1960 г. с магнитудой 9,5. Угрожаемым событием считается столь же сильное ЗТ на Камчатке или Курилах (РФ).

См. также:

[http://ru.wikipedia.org/wiki/file:0khotsk\\_Plate\\_map\\_-\\_de.png](http://ru.wikipedia.org/wiki/file:0khotsk_Plate_map_-_de.png)

<http://www.tvscience.ru/2011/03/15/cunami-uzhas-voochiyu>

<http://www.earthquake.usgs.gov>

7. 18 июля 2011 года с Байконура был запущен российский телескоп «Радиоастрон». Зачем нужен радиотелескоп в космосе, ведь радиоволны через атмосферу доходят до поверхности Земли свободно? Правда ли, что он больше (выше, дальше, быстрее) всех? Что астрономы будут исследовать и что надеются «разглядеть» с его помощью?

*Предполагаемый ответ.*

Действительно, атмосфера Земли имеет два окна прозрачности для входящих электромагнитных волн: оптическое и радио окно (примерно от 1 см до 30 м длины волны). Соответственно, оптические и радиотелескопы можно размещать непосредственно на поверхности Земли. Однако, для эффективных наблюдений любой телескоп должен иметь высокие показатели по двум принципиальным параметрам: иметь возможно большую собирающую поверхность (или в радио — апертуру), и обладать возможно большим угловым разрешением.

Апертура телескопа означает ту площадь поперечной площадки, с которой зеркало телескопа может собирать падающее на него излучение. Для круглого зеркала с диаметром  $D$  апертура равна его геометрической площади:  $A = \pi D^2/4$ . Очевидно, что чем больше зеркало телескопа, тем больше излучения оно соберёт, и тем более слабые источники на этом телескопе можно будет наблюдать.

Угловое разрешение означает способность телескопа различать два близких источника (отстоящих друг от друга на малый угол) или мелкие детали протяжённых источников (при построении их изображений). Для круглого зеркала с диаметром  $D$  угловое разрешение равно  $\varphi \approx \lambda/D$ , где  $\lambda$  — длина волны излучения. Поскольку радиотелескопы работают на гораздо более длинных волнах, чем оптические, то их угловое разрешение всегда было пропорционально ниже (хуже). Например, радиотелескоп с зеркалом 100 м на при наблюдениях на длине волны 1 см имеет такое же угловое разрешение (около 20 угловых секунд), как оптический телескоп с зеркалом всего 0,5 см, хотя его апертура будет в 400 млн. раз больше.

Для преодоления недостатков углового разрешения в радиодиапазоне применяются радиоинтерферометры, когда два (или больше) зеркал объединены между собой, и разрешение интерферометра определяется уже не диаметрами зеркал, а расстоянием  $B$  между ними, т. н. «базой» интерферометра:  $\varphi \approx \lambda/B$ . В случае, когда радиотелескопы не связаны между собой в процессе наблюдений, а осуществляется совместная компьютерная обработка их сигналов после наблюдений, реализуется режим т. н. радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ), расстояние между радиотелескопами в этом случае может быть уже сколь угодно большим. РСДБ, использующие телескопы на противоположных сторонах земного шара, могут достигать углового разрешения  $10^{-9}$ , или 0,2 миллисекунды дуги. Очевидно, что следующим шагом по увеличению углового разрешения является запуск одного из телескопов в космос, для увеличения базы интерферометра сверх диаметра Земли. Именно эту задачу решает проект РАДИОАСТРОН — радиотелескоп в космосе для космической РСДБ с

наземными телескопами.

РАДИОАСТРОН — это международный космический РСДБ-проект, разработанный в Астрокосмическом центре Физического института им. П. Н. Лебедева РАН<sup>6</sup>. Цель проекта — проведение научных радиоастрономических наблюдений с помощью радиотелескопа, смонтированного на космическом аппарате Спектр-Р, который был создан в НПО им. Лавочкина. Запуск космического радиотелескопа произведён 18 июля 2011 г. в 6:31 по московскому времени с космодрома Байконур. 27 сентября 2011 г. космический радиотелескоп Спектр-Р провёл первые тестовые наблюдения радиоисточника.

Для космического радиотелескопа была выбрана орбита с высоким апогеем — 340000 км. На момент своего выхода на орбиту космический радиотелескоп, установленный на борту российского космического аппарата Спектр-Р, — наиболее удалённый от Земли радиотелескоп. В дальнейшем за счёт притяжения Луны апогей орбиты поднимется до 390 тыс. км. При этом максимальное угловое разрешение КРСДБ может достигать  $10^{-11}$ , или миллионной доли угловой секунды. Эта величина соответствует шару для пинг-понга на поверхности Луны при наблюдении с Земли.

Диаметр антенны космического радиотелескопа составляет всего 10 м — из-за ограничений ракеты-носителя, что явно мало. Однако, эффективная апертура интерферометра составляет среднее геометрическое от апертур двух антенн:  $A_{\text{эфф}} = \sqrt{A_1 A_2}$ . Для того чтобы можно было наблюдать слабые объекты, космический радиотелескоп будет работать совместно с самыми большими радиотелескопами на Земле. В качестве синхронных радиотелескопов будут использованы два 100 м радиотелескопа в Грин-Бэнк (Западная Виргиния, США) и в Эффельсберге (Германия), а также 300 м радиообсерватория Аресибо (Пуэрто Рико, зависимая территория США — остров в Карибском море).

Научная программа проекта РАДИОАСТРОН:

— Ядра галактик, сверхмассивные чёрные дыры, горизонт событий, ускорение частиц, предельные яркостные температуры, Фарадеевское вращение, магнитные поля, космические лучи.

— Космологические эффекты; зависимость различных физических параметров ядер галактик от красного смещения объектов; эффекты тёмной материи и тёмной энергии.

— Области формирования звёзд и планетных систем, мазеры и мегамазеры.

— Чёрные дыры звёздных масс и нейтронные звёзды. Межзвёздная и межпланетная материя.

— Фундаментальная астрометрия и определение параметров высокоточной системы небесных координат. Определение параметров высокоточной модели гравитационного поля Земли.

В Астрокосмическом Центре Физического института Российской Академии наук и в Научно-производственном объединении им. Лавочкина (Рос-

<sup>6</sup>См. <http://www.asc.rssi.ru/radioastron> — на англ. языке.

космос), а также у наших коллег во многих странах мира большой праздник — наконец-то дан старт грандиозному и уникальному астрофизическому эксперименту, подготовка к которому начиналась более 30 лет назад (научный руководитель — академик РАН Н. С. Кардашев). Сам проект был готов к осуществлению, то есть к запуску, ещё 20 лет назад, но лихие времена наших девяностых воспрепятствовали этому. За это время нас опередили японцы — в 1997–2001 годах была осуществлена миссия VSOP. На высоте 20000 км летал первый космический радиотелескоп диаметром 9 м, с которым в режиме наземно-космического интерферометра было реализовано рекордное угловое разрешение и получены ценные астрофизические результаты для целого ряда радиоисточников.