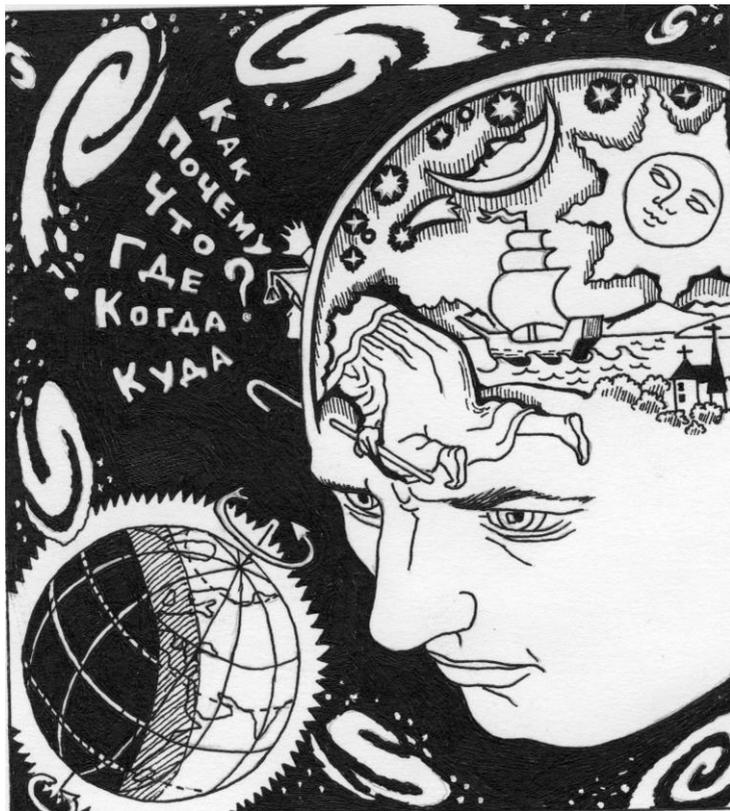


В. А. Ямковой

Астрономические и планетарные
аспекты географии
в вопросах и ответах



Благовещенск
Издательство БГПУ

2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Благовещенский государственный
педагогический университет»

В.А. Ямковой

**Астрономические
и планетарные аспекты
географии
в вопросах и ответах**

Учебное пособие для учащихся общеобразовательных
учреждений

*Допущено Министерством образования и науки
Амурской области в качестве учебного пособия для учащихся
общеобразовательных учреждений*

Благовещенск
Издательство БГПУ
2014

Б Б К 22.654.1я72

Я 55

Рецензенты:

Т.Г. Алексеева, к. г. н., доцент, зав. кафедрой географии
ФГБОУ ВПО «БГПУ»;

Л.Г. Груздева, специалист по УМР Амурского областного
ИРО.

Я 55 Ямковой, В.А.

Астрономические и планетарные аспекты географии в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2014. – 225 с.

В учебном пособии представлены вопросы о форме и размерах Земли, особенностях осевого и годового движения планеты, приведены сведения о химическом составе и магнитных свойствах земного шара, о его основных геосферах. Рассмотрены вопросы взаимодействия Земли и Солнца, акцентировано внимание на особенностях и уникальности Земли по сравнению с другими планетами. Из космогонии изучены вопросы происхождения Земли и прогнозы возможного будущего планеты, приведены примеры прошлых и прогнозируемых космических катастроф. Отдельным блоком анализируется практическая польза космонавтики, ее достижения в межпланетных перелетах; выявляются трудности пилотируемой космонавтики.

Книга предназначена для учащихся общеобразовательных учреждений, может быть использована студентами географических факультетов, учителями географии, физики, химии, классными руководителями, организаторами досуга детей.

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Благовещенского государственного педагогического
университета*

Б Б К 66.09я73

© Изд-во БГПУ, 2014

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ	7
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМЕ ЗЕМЛИ	7
СОВРЕМЕННЫЕ ЗНАНИЯ О ФОРМЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ	10
МАССА И СИЛА ТЯЖЕСТИ НА ЗЕМЛЕ	16
НЕДРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ	20
ГЛОБАЛЬНЫЙ РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ	30
ОСЕВОЕ ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ	32
ЗЕМЛЯ НА ОРБИТЕ ВОКРУГ СОЛНЦА	41
СРАВНЕНИЕ ЗЕМЛИ С ДРУГИМИ ПЛАНЕТАМИ И ЛУ- НОЙ	48
КОСМИЧЕСКИЕ МАСШТАБЫ И РАССТОЯНИЯ	51
УНИКАЛЬНОСТЬ ЗЕМЛИ КАК ПЛАНЕТЫ, ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ЖИЗНИ	55
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, КОМПАС	73
ЧАСОВЫЕ ПОЯСА, КАЛЕНДАРЬ, ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕ- НИЯ	78
СОЛНЦЕ	83
СОЛНЦЕ – «ОБЫЧНАЯ» УНИКАЛЬНАЯ ЗВЕЗДА	83
СОЛНЦЕ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ	89
СОЛНЦЕ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ	97
СОЛНЦЕ И ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ	103
ГЕОСФЕРНЫЕ ОБОЛОЧКИ – ОБЩИЙ ПЛАНЕТАРНЫЙ ОБЗОР	107
АТМОСФЕРА	107
ГИДРОСФЕРА	115
БИОСФЕРА	128
ЛИТОСФЕРА	135
ДАЛЕКОЕ ПРОШЛОЕ ЗЕМЛИ	137
ВОЗМОЖНОЕ БУДУЩЕЕ ЗЕМЛИ	152
АСТРОНОМИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ ДЛЯ ЗЕМЛИ	154
ПАРАДОКСЫ КОСМИЧЕСКИХ ДОРОГ	160
ГЕОГРАФИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПУТЕШЕСТВИЙ	166
АСТРОНОМИЧЕСКОЕ НАСТОЯЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА	172
ВЕРОЯТНОЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕ- ЧЕСТВА	177
РАЗНОЕ	183

ПРЕДИСЛОВИЕ

Земля является частью обширной и бесконечной Вселенной. География как наука изучает процессы, происходящие в географической оболочке, т. е. на границе между космосом и раскаленными недрами планеты. Для понимания процессов в географической оболочке необходимо отвлечься от земных масштабов и посмотреть на нашу планету, как бы со стороны, обратив внимание на форму и размеры Земли, скорость и направление орбитального вращения, наклон оси вращения к плоскости орбиты, на Луну и планеты Солнечной системы, на Солнце.

Известный геофизик А.С. Монин предложил термин геонимия для науки, всесторонне изучающей Землю и её космических собратьев. Ряд авторов предлагают для науки, находящейся на стыке географии и астрономии, термины – геокосмология, астрогеография. Для целостного представления о процессах, происходящих в географической оболочке, необходим целостный, глобальный взгляд, охватывающий Землю от её недр, формы, химического состава до показа её места в Солнечной системе, Галактике, Вселенной. Мы совершим мысленное путешествие по Земле и её космическим окрестностям, попытаемся заметить уникальность астрономических и физических параметров Земли и её положения в Солнечной системе и Вселенной.

В обыденной жизни многие явления природы, связанные с астрономическими факторами, кажутся слишком простыми и очевидными для понимания, что они оказываются фактически вне программы в школьной и вузовской географии. Такими малоосвещенными темами стали вопросы суточного вращения Земли, смены дня и ночи, времен года, форма и размеры Земли, особенности внутреннего и химического состава Земли и планет, магнитосфера Земли, уникальность Земли как планеты с точки зрения астрономии, гипотезы «рождения» Земли и планет. Таким образом, большинство вышеназванных тем оказываются не охвачены ни географией, ни, к сожалению, астрономией, исключенной из школьного курса обучения.

Для формирования бережного отношения к себе и природе необходимо осознавать уникальность нашей родной планеты, понимать, что во Вселенной, при всем ее разнообразии и многочисленности звездных систем, а значит планет, пригодных для жизни, стечение обстоятельств, позволяющих зародиться жизни, настолько редко, что, возможно, наша Земля единственная обитаемая планета среди миллиардов звездных миров. Понимание астрономической уникальности

нашей планеты позволит человеку принимать ответственные решения за свою судьбу и судьбы других людей, бережно относиться к природе. На это направлено данное пособие, изобилующее массой примеров и фактов, показывающих уникальность и особенность астрономических и планетарных факторов для планеты Земля.

Цель пособия – восполнить пробел в знаниях в области астрогографии, геокосмологии, на стыке астрономии, космонавтики, земледения, физики, химии, биологии.

Пособие рассчитано на широкий круг читателей, пытающихся разобраться в «устройстве мира» и понять свое место в мире.

«Самое глубокое проявление самосознания, когда мыслящий человек пытается определить свое место не только на нашей планете, но и в космосе» (В.И. Вернадский).

ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМЕ ЗЕМЛИ

1. Как люди узнали, что Земля круглая (шарообразная)?

Представление о том, что Земля имеет форму шара появилось с VI в. до н. э. в Греции. *Пифагор* (VI в.), *Аристотель* (IV в.) придерживались этих взглядов, а *Эратосфен* в III в до н. э. измерил даже окружность земного шара.

Пифагор, один из первых, кто высказал мысль о шарообразности Земли и рассуждал он примерно следующим образом: *«Все в природе должно быть гармонично и совершенно, Земля тоже должна быть совершенна. Но совершеннейшее из геометрических тел есть шар. Стало быть, Земля – шар!»*

В качестве доводов шарообразности Земли выступали следующие наблюдения. Если смотреть с башни на берегу моря вслед уходящему кораблю, то можно заметить, что сначала корпус корабля скрылся за горизонтом, но мачта с парусом какое-то время еще видна. И только потом исчезает и она. Это доказывает, что поверхность моря изогнутая. Если бы Земля была плоской, корабль становился бы меньше и меньше, пока не стал бы едва заметной точкой, а потом совсем пропал бы из виду.

А еще древние греки заметили, что из разных точек Земли звездное небо выглядит по-разному. Когда ты движешься на север, на небе появляются звезды, которые были не видны на юге. Высота солнца также будет изменяться в зависимости от того, как далеко путешественник пройдет к северу или югу. Это возможно только в том случае, если ты передвигаешься по поверхности шара. Будь Земля плоской, звезды и солнце никогда не меняли бы своего положения на небе, независимо от того, откуда ты за ними наблюдаешь.

Наблюдения за лунными затмениями указывают на то, что Луну от Солнца закрывает круглая тень Земли, да и сами круглые формы Луны и Солнца наталкивали, по аналогии, на мысль о том, что и Земля имеет такую фигуру. Однако все эти доводы убеждали далеко не всех, требовалось веское и убедительное доказательство, которым стало первое кругосветное путешествие Магеллана в 1519-1522 гг.

Во времена Птолемея существовало экспериментальное доказательство шарообразности или сферичности поверхности Земли. Выращивая на своих обширных полях урожай, необходимый для многочисленного населения, египтяне издавна были специалистами в землемер-

ном деле. Прокладывая простирающиеся на много километров треугольники, они установили любопытный факт: сумма внутренних углов этих треугольников всегда превосходила 180° . Однако, как доказал Евклид (около 300 г. до н. э.), сумма углов плоского треугольника, всегда равна 180° . Первое очевидное объяснение этого противоречия состояло в том, что измерения ошибочны. Однако тщательное их повторение неизменно давало тот же результат. Ответ пришел, когда посмотрели, что получится, если треугольник расположен не на плоской поверхности, а на сфере: такой треугольник оказался деформированным, как бы вздутым.

Испанская экспедиция, возглавляемая *Фернандо Магелланом* (20.09.1519 – 6.09.1522) за 1081 день (3 года) обогнула Землю, двигаясь на Запад, и вернулась обратно в Испанию. Правда, из 5 кораблей вернулся один, а из 265 человек 18. Двигаясь по бесконечно плоской Земле в одном направлении вернуться в исходную точку было бы совершенно невозможно.

2. Кто из ученых впервые в истории, используя солнечную тень от шеста, измерил Земной шар?

В III в. до н. э. греческий ученый *Эратосфен* провел измерение Земли (радиус и окружность) с погрешностью около 1% от истинных размеров. Жил Эратосфен (автор термина «география») в египетской Александрии, расположенной в 800 км от Асуана (Сиена), который в свою очередь расположен на северном тропике.

Расстояние между городами было известно уже давно благодаря караванной дороге. Эратосфену был известен факт, что 22 июня в день летнего солнцестояния в Асуане солнце располагается в полдень точно над головой – в зените (тень нет) и освещает дно самых глубоких колодцев. Однако в Александрии в этот день все предметы в полдень отбрасывают короткую тень, и Солнце немного не дотягивает до зенита. Этот факт навел ученого на мысль, что подобное неравенство высоты Солнца над горизонтом возможно только в случае, если Земля имеет форму шара. В случае, если бы Земля была плоской, тени в полдень в одно время были бы одинаковыми.

Эратосфен измерил с помощью скафиса (чаша с круговыми делениями и вертикальным шестом в центре) высоту Солнца 22 июня в полдень в Александрии ($82^\circ 50'$) и Асуане (90°). Разница в $7^\circ 10'$ соответствовала на Земле дуге меридиана, равной 800 км. 1° дуги земной окружности тогда оказался равен $800 \text{ км} : 7,2^\circ = 111 \text{ км}$. Длина окружности Земли в таком случае $360^\circ \times 111 \text{ км} = 40000 \text{ км}$, а радиус $r =$

$40000/2\pi = 6370$ км. Таким образом, Эратосфен по известному расстоянию на поверхности Земли и полуденной тени в двух городах измерил окружность Земли.

3. Как неточное представление о размерах Земли способствовало открытию Америки?

Результаты измерения Земли Эратосфеном во II в. до н. э. были утрачены в последующие века европейского варварства.

Когда Колумб в 1492 г. отправлялся в свое историческое плавание, он знал, что Земля – шар, однако, сильно ошибался в оценке её размеров. Размеры Земли были заново определены такими персонами, как кардинал *Пьер д'Айи*, канцлер Парижского университета на рубеже XIV в., который вместо того, чтобы измерять тени на поверхности Земли, обратился к первоисточнику всех знаний – библии, где нашел утверждение, что 1/7 земной поверхности покрыта водой. Зная (неверно) площадь суши, он рассчитал, что океан (один), отделяющий Европу от Китая, простирается приблизительно лишь на 4 тыс. миль.

Такая, по сути, ложная информация лежала в основе путешествия Колумба в поисках западного пути в Индию. Знай Колумб истинное расстояние, он бы понимал, что ни его корабли, ни припасы не позволят преодолеть этот путь, и не пытался бы это сделать. Вот на каких впечатляющих ошибках делается история.

4. За какое научное достижение в области геодезии француз Мопертюи в середине XVIII в. был удостоен медали, на которой изображен человек, держащий в одной руке палицу Геркулеса, в другой – сплюснутый земной шар?

За измерение длины 1° дуги меридиана в заполярье, в Скандинавии. Мопертюи заявил: «Длина градуса в Лапландии 111,95 км, что на 737 м больше, чем на севере Франции». Значит, Земля сплюснута. Предположение Ньютона, утверждавшего, что Земля сплюснута, было доказано.

По современным измерениям длина градуса меридиана на экваторе равна 110576 м, а у полюса – 111695 м.

5. Какие единицы измерения были «изобретены» во Франции в XVIII в. в ходе измерения Парижского меридиана?

В 1792-1797 гг. в годы Великой Французской революции была точно измерена дуга меридиана Дюнкерк – Париж – Гозез под руководством Ж.Б. Деламбра. Тогда же был «изобретен» *метр* (с греч.

«мера») как $1/10000000$ часть четверти Парижского меридиана (отрезка меридиана от экватора до полюса). Метр породил такие единицы измерения, как: см, мм, км, 1 грамм, как вес 1 см^3 воды, кг, ц, т, литр, как 1 дц^3 , сотка, га, км².

СОВРЕМЕННЫЕ ЗНАНИЯ О ФОРМЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ

1. *Какая геометрическая фигура больше всего соответствует форме Земли?*

В обыденном понимании для Земли можно использовать понятие «*Земной шар*», однако с точки зрения геометрии этот термин не совсем применим к фигуре Земли. В 1873 г. Листинг предложил для названия формы Земли термин «*геоид*» (с греч. «землеподобный»). *Геоид – фигура Земли, ограниченная уровенной поверхностью, где уровенная поверхность это поверхность Мирового океана, мысленно продолженная под материка и везде перпендикулярна отвесной линии.*

Форма геоида близка по форме к эллипсоиду. *Эллипсоид* – поверхность, образованная вращением эллипса вокруг меньшей оси. Величина сжатия эллипсоида мало отличается от шара, поэтому его можно назвать также сфероидом (фигура, близкая к сфере).

В то же время экваториальное сечение Земли не круг, а эллипс, большая полуось которого превышает малую на 100 м. Обнаружено, что Земля слегка грушеподобна: в средних широтах южного полушария геоид выше сфероида (до 20 м), на экваторе они совпадают, а в средних широтах северного полушария геоид ниже сфероида: северный полюс приподнят на 15 м, а южный опущен на 20 м, а вся Антарктика лежит на 30 м ниже эллипсоида. В последние годы при анализе космических снимков выяснили, что северный полярный радиус больше южного на 30-100 м, следовательно, Земля имеет форму *кардиоида* (сердцеподобный).

Таким образом, к форме Земли приемлемы такие понятия – шар, эллипсоид, сфероид, кардиоид, но более точно отражает форму Земли термин геоид.

2. *Каковы размеры Земного эллипсоида?*

Благодаря вращению, Земля несколько «сплющена» с полюсов. Полярный радиус, принятого в СССР эллипсоида Красовского (1946 г.) или малая полуось, имеет длину 6356 км 863 м, а экваториальный – 6378 км 245 м. Разность полуосей-радиусов равна **21 км 382 м**, это значит, что полюса Земли на 21 км ближе к центру Земли, чем экватор.

Полярный радиус относится к экваториальному радиусу, как 99,66% к 100%. При построении карт Землю принимают за правильный шар с радиусом **6371,1 км**.

Многочисленные спутниковые данные уточнили фактические размеры и форму Земли: средний экваториальный радиус – 6378,14 км, средний полярный радиус – 6356,78 км, полярное сжатие – 1/298,3 (21,36 км), площадь поверхности Земли **510 млн. км²**.

Приплюснутость Земли у полюсов впервые объяснил Ньютон в XVIII в. Французский астроном Ж. Рише заметил, что маятниковые часы в Кайене (экватор) отстают на 2,5 минуты в сутки от Парижских, за счет меньшей силы тяжести. Причиной меньшей силы тяжести на экваторе является большая удаленность от центра Земли, и в то же время на экваторе максимально проявляется центробежная сила осевого вращения Земли.

3. Фигура Земли – геоид, близка к эллипсоиду вращения, но имеет выпуклости и впадины, что делает его неидеальной геометрической фигурой. Где располагаются наиболее крупные «вдавливания» и «выпячивания» на геоиде?

Как установлено с помощью космической съемки, к югу от Шри-Ланки поверхность океана опущена на 112 м от уровня земного эллипсоида. Край этой гигантской воронки очень пологие и поэтому незаметны с Земли. К северо-востоку Австралии, в районе острова Новая Гвинея, уровень водной поверхности, напротив, на 78 м выше уровня эллипсоида. В районе «Бермудского треугольника» поверхность воды на 64 м ниже уровня земного эллипсоида, в то же время северная часть Атлантики представляет собой плато, самая высокая часть которого на 67 м выше уровня эллипсоида.

Наблюдения спутников показали и долготные вариации геоида и подтвердили вывод геодезистов о его трехосности: экваториальное сечение Земли тоже не круг, а эллипс, большая полуось которого превышает малую на 100 м. Обнаружено, что Земля слегка *груш* *еподобна*: в средних широтах южного полушария геоид выше сфероида, на экваторе они совпадают, а в средних широтах северного полушария геоид ниже сфероида; северный полюс приподнят на 15 м, южный опущен на 20 м, а вся Антарктида лежит на 30 м ниже эллипсоида.

4. Меняются ли размеры и масса Земли за длительные промежутки времени?

О изменении размеров Земли существует две группы гипотез – Земля увеличивается и, наоборот, уменьшается.

По одной из гипотез в кристаллических решетках металлов в ядре Земли содержится водород (калий, натрий, кальций, барий, стронций, присоединяя водород, уменьшаются в объеме в 1,5 раза уже при атмосферном давлении), который, двигаясь к земной коре, покидает металлы, а это увеличивает их объем. Отсюда вывод: дегазация водорода из глубин Земли должна сопровождаться расширением нашей планеты. Расчеты показывают, что при полной дегазации водорода из ядра радиус нашей планеты может увеличиться еще примерно на 300-320 км.

По расчету М. Лобановского *радиус Земли увеличивается примерно на 1 мм в год*, а объем планеты – на 515 км³. Вращаться «полнеющей» Земле становится труднее и каждые 100 лет сутки удлиняются на 0,0023 секунды. Увеличение массы ежегодно удаляет Землю от Солнца на 22,6 м. Причиной роста Земли является ее гравитация, притягивающая космическую пыль до 2-5 млрд. т ежегодно. Еще один источник вещества для Земли – солнечный ветер, состоящий из протонов, гелия, лития и других частиц (каждую секунду Солнце теряет около 4 млн. т своей массы).

По другой гипотезе, не менее чем через 10 млрд. лет Земля вырастет настолько, что в ее ядре начнутся ядерные реакции, и фактически планета превратится в звезду (в этом отношении Юпитер и Сатурн представляют собой «недозрелые» звезды, которым для этого не хватает массы).

Только за счет космической пыли масса Земли ежегодно увеличивается на 5-50 млн. т или *на 1 тонну каждую секунду*. Увеличение массы, однако, не сопровождается увеличением размеров Земли. Вследствие глубинного сжатия *радиус планеты сокращается* приблизительно на 5 см за столетие, а диаметр, соответственно на 10 см или *на 1 мм в год* (за 1 млн. лет диаметр уменьшится на 1 км, а за 1 млрд. лет уже на 1000 км). Однако это уменьшение носит пульсирующий характер, потому что его сменяют периоды расширения, вызываемые огромным количеством тепла, освобождаемого сокращением радиуса.

Описанные выше процессы отражаются и на скорости вращения Земли: при уменьшении радиуса скорость возрастает, при увеличении – замедляется. Следовательно, при вековой тенденции к уменьшению объема планеты скорость вращения должна увеличиваться. Однако, приливное торможение Луны оказывает более мощное влияние и в целом понижает скорость осевого вращения. Уменьшение скорости

суточного вращения сказывается и на форме Земли – из сплюснутого эллипсоида Земля стремится перейти к форме шара. Но, из-за значительной вязкости вещества планеты изменение ее фигуры несколько отстает от изменения скорости вращения. Современная форма Земли отвечает не теперешней скорости, а той, которая была около 10 млн. лет назад.

5. Длина экватора около 40 тыс. км, длина какой параллели будет в два раза короче экватора?

Длина параллели 60° северной или южной широты равна 20 тыс. км. И поэтому кругосветное путешествие вдоль этих широт будет вдвое короче, чем вдоль экватора.

6. Если бы Солнце было полое (пустое внутри), то сколько бы в нем могло поместиться земных «шариков»?

Объем Солнца в 1,3 млн. раз больше объема Земли и значит в Солнце могло бы разместиться 1,3 млн. объемов Земли. В соотношении объемов Солнца и Земли такое же соотношение как у землеройки и слона.

Диаметр Земли в 109,1 раза меньше диаметра Солнца.

7. Во сколько раз ваш глобус меньше Земного шара?

По масштабу, прописанному на глобусе, мы узнаем во сколько раз диаметр глобуса меньше диаметра Земли. Так, при масштабе 1 : 50000000 (в 1 см 500 км) диаметр Земли в 50 млн. раз больше, чем у глобуса. Далее, зная, что объемы шаров относятся как кубы диаметров или радиусов, вы сумеете решить эту несложную задачу. Например, диаметр среднего глобуса 25 см или 0,00025 км. Диаметр Земли 12740 км. На основании всего вышесказанного, Земной шар по объему больше шара глобуса в $12740^3 : 0,00025^3 = 134\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ раз. Попутно напомним, что Солнце по объему в 1300000 раз больше Земного шара.

8. За какое время пешеход, проходя по 10 км в день, обойдет Землю, совершив кругосветное путешествие?

Окружность Земли по экватору 40075 км, по меридиану – 40007. Проходя по 10 км в день (именно столько рекомендуется людям проходить пешком для поддержания здоровья) за 11 лет набирается дистанция соответствующая «кругосветке».

Первое кругосветное путешествие Магеллана с 20 сентября 1519 г по 6 сентября 1522 г длилось 1081 день или почти 3 года. Длина маршрута составила 49400 км, а средняя скорость составила всего лишь 45 км /сутки.

На космическом корабле облет Земли совершается всего за 87 мин (1,5 часа) или в 18 тыс. раз быстрее экспедиции Магеллана. Скорость космического корабля на орбите составляет 28800 км/ч или 8 км/сек. Космонавт Валерий Поляков провел на орбите 678 суток, совершив 10848 кругосветок (в 2,9 раз больше расстояния от Земли до Солнца).

На самолете «Боинг-747» кругосветный полет с двумя дозаправками осуществлен за 41 час полетного времени (средняя скорость 985 км/ч). В 1989 г. 2 автомобиля марки «Опель Рекорд» испытывались на прочность и совершили за год 14,3 кругосветки, «намотав» 573 тыс. км. Канадец Рик Хансен (1957 г. рождения) с парализованной нижней частью тела после аварии в 1973 г проехал на инвалидной коляске 40074 км, посетив 34 страны на 4 материках за 2 года и 2 месяца.

9. *Над головой у нас «верх», под ногами – «низ». А где же «верх» и «низ» на другой стороне Земли?*

«Верха» и «низа» во Вселенной нет: все, что над нами, мы условно называем верхом, а противоположное направление низом. В каждой точке на Земле, Луне, на планетах и т. д. есть свой «верх» и свой «низ». В средние века многие ученые и церковники возражали против учения о шарообразности Земли и считали это учение нелепым. «Если Земля шар, – рассуждали средневековые мудрецы, – то на другой стороне люди должны ходить ногами вверх, деревья должны расти кроной вниз, дождь – падать вверх. Однако, самым главным доводом служило то, что шарообразность Земли нельзя было согласовать с церковным «учением» о воскрешении, так как покойники на другой стороне Земли должны были бы восставать ногами вверх».

10. *Можно ли на карте мира показать линией кратчайшее расстояние между двумя точками, расположенными в разных полушариях?*

При всей очевидности и легкости ответа, что достаточно только соединить точки линейкой и провести черту, следует заметить, что так просто можно найти кратчайшее расстояние только на топографических картах с масштабом до 1:200000. На мировых картах (мелкомасштабных) показать кратчайшее расстояние просто невозможно.

Кстати, попробуйте соединить кратчайшей линией на карте Благовещенск и Нью-Йорк, большинство проведет линию через Тихий океан. Однако для нахождения кратчайшего расстояния, или ортодромии (с греч. «прямой путь», или «прямая дорога») необходимо воспользоваться глобусом и ниткой. Выяснится, что ортодромия от Благовещенска до Нью-Йорка проходит через Якутию, Северный Ледовитый океан (до 80° с. ш.), Канадский арктический архипелаг, Гудзонов залив, и не заходит на Тихий океан.

Если говорить об ортодромии, изображенной на карте, то она визуально выглядит дугой, что противоречит нашим представлениям о прямых. Фактически все ортодромии в северном полушарии выглядят как дуги, выгнутые в сторону Северного полюса, а в южном полушарии как дуги, выгнутые в сторону Южного полушария.

11. Можно ли путешествовать по Земле на значительные расстояния по прямой линии?

На глобусе мы можем найти кратчайшее расстояние и маршрут между любыми точками с помощью натяжной нитки, и эта линия носит греческое название *ортодромия* – «прямая дорога». Но будет ли эта дорога прямой линией? С учетом того, что поверхность Земли – сфера, то все ортодромии, по существу, являются дугами, откладываемыми воображаемым циркулем с радиусом 6371 км (радиус Земли).

Геометрические прямые линии будут проходить через тело Земли, типичный пример полюса; геометрически прямая линия между ними – ось Земли, а на поверхности их соединяют дуги меридианов.

В свете вышеизложенного вполне оправдано выражение «уехать за бугор» (т. е., очень далеко, например, в другую страну), фактически за край сферы. Для точек антиподов (тех же полюсов) «бугром» будет на фоне прямой по оси полушария с высотой 6371 км (бугор так бугор!).

12. Какую геометрическую фигуру имеет ночь Земли?

Солнце освещает только одну половину Земли; на противоположной от Солнца стороне вследствие непрозрачности Земли образуется от неё коническая тень, внутри которой царит мрак (ночь). Вершина конуса тени находится в пространстве на расстоянии 1,4 млн. км от поверхности Земли. Таким образом, ночь имеет форму длинного конуса высотой 1,4 млн. км и диаметром основания в 12740 км.

13. Какое из полушарий (южное или северное) подвержено большей степени сжатия и имеет меньший радиус полярной полуоси?

Северная полярная полуось на 30-100 м длиннее южной, и поэтому степень сжатия Северного полушария меньше. Суша в Северном полушарии занимает 30% площади, а в южном – всего 19%.

Большая часть южных материков занята древними платформами (на 72-90%), значительная часть северных материков образована палеозойскими и мезокайнозойскими горами. В целом, кора материков легче, чем океаническая кора, и поэтому южное полушарие (с большей долей океанической коры) тяжелее и имеет больший вес и, соответственно, меньший радиус полуоси.

М А С С А И С И Л А Т Я Ж Е С Т И Н А З Е М Л Е

1. Как древнегреческий философ Парменид в VI в. до нашей эры объяснил притяжение тел к Земле?

Парменид (около 540-480 гг. до н. э.), младший современник Пифагора, признававший шарообразность Земли. Чтобы признать Землю шаром, необходимо было объяснить стремление вещей падать не вниз, а к центру (шара). Эту задачу Парменид решил, и довольно неожиданно. В середину мира философ поместил богиню Афродиту и родительницу Эроса, олицетворение любовного чувства. И если Эрот порождает желания, влекущие друг к другу живые существа, почему бы подобное стремление не приписать другим вещам, которые богиня влечет к себе любовью? Стоит вспомнить и о том, что творящей первопричиной Парменид считал огонь (по сути это верно, с точки зрения современной космогонии).

2. Кто из ученых впервые измерил силу гравитации Земли, и его фамилия стала основой для новой единицы измерения?

Таким ученым стал итальянец *Галилео Галилей*. До наблюдений Галилея в науке господствовало представление Аристотеля о том, что ядро из легкого материала падает медленнее, чем тяжелое. Однако Галилей усомнился в этой «истине» и серией опытов опроверг суждения Аристотеля. Сбрасывая с Пизанской башни шары разной массы (ряд ученых утверждают, что это легенда, а шары он скатывал по желобам), Галилей сделал вывод, что падение разных по массе шаров совершается за одно и то же время. Галилей экспериментально доказал, что свободное падение является частным случаем равноускоренного движения и описывается формулой $S = Q \cdot t^2 / 2$, где S – высота, с которой падает

тело; t – время падения; Q – ускорение силы тяжести. С помощью этой формулы, зная высоту и время падения, Галилей в 1590 г. оценил ускорение силы тяжести в $9,8 \text{ м/с}^2$, на экваторе она минимальна – $9,78 \text{ м/с}^2$, а на полюсах максимальна – $9,83 \text{ м/с}^2$. В средних широтах на уровне моря примерно равна 981 см/с^2 .

Долгое время единица ускорения силы тяжести не имела названия, и только в 1930 г. на Международном конгрессе в Стокгольме ученые договорились выбрать в качестве такой единицы 1 см/с^2 и дать название в честь Г. Галилея – галл.

3. *Каким образом англичанин Г. Кавендиш (1731-1810 гг.), не выходя из кабинета лаборатории, определил массу нашей планеты?*

В 1798 г. *Кавендиш*, используя крутильные весы, провёл измерения гравитационной постоянной. Устройство весов было очень простым. На длинной металлической нити был подвешен очень лёгкий и тонкий стержень, играющий роль коромысла, на концах которого были прикреплены два маленьких свинцовых шарика массой не более 0,73 кг. По периоду колебания крутильных весов можно было вычислить сопротивление нити скручиванию, причём вся система должна была вращаться в горизонтальной плоскости. Для определения этого сопротивления Г. Кавендиш прикрепил два свинцовых шарика, которые уравновесили «качели», и стал приближать к ним два больших свинцовых шара, масса каждого из которых была по 158 кг. Когда большие шары оказались на расстоянии 20 см от шариков коромысла, оно пришло в движение, так как маленькие шарики притянулись к большим и, зная их массы, удалось вычислить значение гравитационной постоянной.

Как истинный исследователь, Г. Кавендиш повторял и повторял свой опыт, пока не получил стабильный результат. Вычисленная им гравитационная постоянная оказалась равной $6,67 \times 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \times \text{с}^2)$, что примерно на 1% отличается от показателя, определенного современными приборами. Дело в том, что гравитационная постоянная ничтожно малая величина (для небольших объектов), и, соответственно, ее очень сложно измерить. Вот простой пример. Сила взаимного притяжения 50-кг шаров на расстоянии 10 см примерно в 60 млн. раз меньше силы притяжения их к Земле.

Определив по второму закону Ньютона силу F падения шарика массой m на Землю – $F = mg$, он приравнивал её к силе притяжения по закону всемирного тяготения: $mg = fmM/r^2$, где M – масса Земли; r – расстояние между центрами шарика и Земли, g – ускорение свободно-

го падения. Отсюда $M = gr^2/f$. Так он определил, что Земля имеет массу 6×10^{21} т. Кроме измерения массы Земли Кавендиш «взвесил» также Луну ($7,4 \times 10^{19}$ т), Солнце (2×10^{27} т) и Юпитер ($1,9 \times 10^{24}$ т) с погрешностью не более 1%.

Когда Г. Кавендиш обнаружил свои результаты, учёные ему не поверили, так как планета оказалась почти в 2 раза тяжелее каменного шара такой же величины. По его расчётам Земля имела плотность $5,48 \text{ г/см}^3$ (современное значение – $5,52 \text{ г/см}^3$), тогда как вода 1 г/см^3 , глина $2,2 \text{ г/см}^3$, песчаник $2,3 \text{ г/см}^3$, гранит $2,7 \text{ г/см}^3$, базальт $2,8 \text{ г/см}^3$, и была близка к плотности металлов (железо – $7,88 \text{ г/см}^3$, магний – $1,74 \text{ г/см}^3$).

Достоинны восхищения эти великие открытия, если подумать, что за основу эксперимента исследователь взял измерение перемещения свинцовых шариков между собой.

Следует заметить, что Кавендиш не взвесил Землю, а нашёл её массу. Ну а каков же вес Земли? Правильный ответ таков: *вес Земли равен нулю*, потому что Земля находится в свободном падении, а гравитационные силы, действующие на неё со стороны других небесных тел, давно взаимно уравновесились и не приводят к изменению положения Земли на установившейся траектории её «падения». И это не игра слов, а непреложный научный факт.

Добавим, что Ньютон за сто лет эксперимента Кавендиша дал умозрительную оценку средней плотности Земли: «так как обыкновенные верхние части Земли примерно вдвое плотнее воды, немного ниже, в рудниках, оказываются примерно втрое, вчетверо и даже в пять раз более тяжелыми, правдоподобно, что всё количество вещества Земли в пять или шесть раз более того, как если бы оно всё состояло из воды».

4. Как маятниковые часы помогли узнать, что Земля сплюснута с полюсов?

В 1672 г. француз *Рише* случайно заметил: у экватора маятниковые часы идут медленнее, чем в Париже. Пришлось исправить их ход – укоротить маятник. Потом Рише доложил об этих явлениях во французской Академии наук. Академики не долго думали. Постановили: «Виновата тропическая жара. Она удлиняет маятник». Вот тут *Ньютон* «бестактно» заявил: «Жара – не причина. Подобное может случиться, если температура у экватора будет минимум на 200 градусов выше, чем в Париже. Главная причина в сплюснутости Земли. В действии сил тяготения». – Ну, это уж слишком! – возмутились достопочтенные мужи науки.

Однако Ньютон был прав, центробежная сила, вызванная вращением Земли, делает экваториальный радиус планеты на $1/230$ часть больше полярного. Соответственно, сила тяжести на экваторе меньше, чем на полюсе из-за центробежного эффекта и большей удаленности от центра планеты.

5. Почему Луна не падает на Землю?

В действительности, Луна «падает» на Землю все время, но она одновременно непрерывно обращается вокруг Земли. В результате своего почти кругового движения Луна отдаляется от Земли по касательной (закон инерции), но вследствие взаимного притяжения она в то же время сближается с Землей. Если бы Луна не обращалась вокруг Земли, то столкновение с Землей было бы неизбежно, а если бы не было взаимного притяжения, Луна давно бы улетела в пространство. Наконец, если бы при том же взаимном расстоянии Луны и Земли действие силы притяжения было больше, чем на самом деле, Луна упала бы на Землю, а если бы притяжение почему-либо уменьшилось, она бы улетела в пространство. Такое же «равновесие» существует и для Земли, которая «падает» на Солнце и одновременно «улетает» от него по инерции.

6. Где кончается земное притяжение?

Притяжение нигде не заканчивается, а лишь ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния. Следовательно, если мы поднимемся над Землей на высоту радиуса земного шара (6370 км), то сила притяжения уменьшится в 4 раза. При удалении от центра Земли на 3 радиуса притяжение уменьшится в 9 раз и т.д. Притяжение заметно уменьшается, но никогда не исчезает; оно может стать очень малым, практически, быть может, незаметным, но все же будет существовать и может быть вычислено.

Однако при удалении от Земли можно приблизиться к другому небесному телу настолько, что притяжение его окажется уже больше земного, тогда предмет (например, космический корабль) будет во власти притяжения этого небесного тела. На расстояниях свыше 900 тыс. км от нашей планеты земное притяжение становится настолько ничтожным, что на космический объект будет сказываться притяжение других небесных тел, в частности гравитация Солнца. Луна находится в зоне гравитации Земли, но на расстоянии до 38,4 тыс. км от Луны ($1/10$ расстояния Земля – Луна, 384 тыс. км) её собственная сила тяжести будет больше земного тяготения.

7. Если на одну чашу весов положить Землю, а на другую кубическую железную гирю, какова должна быть длина граней этого куба, чтобы уравновесить весы?

Длина грани железного куба, равного по массе Земле, достигла бы 10 тыс. км.

8. Как изменится вес 1000 кг золота, взвешенного на 50° с. ш. (в Благовещенске), при перемещении его на северный полюс и экватор?

При взвешивании на пружинных весах 1000 кг золота, вывезенного с 50° с. ш. на экватор, станет легче на 3170 г, а при взвешивании на полюсе тяжелее на 2140 г.

Ускорение силы тяжести на северном полюсе $-9,832 \text{ м/с}^2$, на 50° $-9,811$, на экваторе $-9,78 \text{ м/с}^2$. Корабль, весивший в Архангельске 20 тыс. т, по прибытии в экваториальные воды становится легче на 80 т. Паровоз весом 60 т (взвешенный в Москве) при взвешивании в Архангельске потяжелеет на 60 кг, а в Одессе, наоборот, станет на 60 кг легче.

9. Где на Земле выгодней всего продавать и покупать золото, не с точки зрения спроса, а с точки зрения изменения веса товара?

Продавать золото выгодней на полюсах, а покупать на экваторе. Центробежная сила осевого вращения и удаленность экватора от центра Земли на 22 км по сравнению с полюсами делают силу тяжести на экваторе на $1/288$ часть меньше. Уменьшение веса тела от полюса к экватору можно обнаружить, взвешивая любое тело на точных пружинных весах (весы с гирями не годятся, так как гири тоже изменяют вес).

Этот же эффект можно получить с качающимся маятником, который на экваторе качается медленнее. Всякое тело, весящее на полюсе 9,8 Н, на экваторе будет весить 9,74 Н. Так, гиря весом 1 кг, взвешенная на пружинных весах на полюсе, на экваторе будет весить 994 г. Человек весом в 100 кг на полюсе на экваторе будет весить 99,4 кг или на 600 г меньше.

НЕДРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ

1. Есть ли химическое своеобразие Земли в отличие от остальной Солнечной системы и Вселенной в целом?

Тяжелые химические элементы были и остаются вещественной основой нашей планеты. Эта черта значительно отличает Землю от остального Космоса. Там безраздельно господствуют водород и гелий. Мы живем в водородно-гелиевом мире с незначительной примесью более тяжелых элементов. Но в эту «примесь» входят все планетные системы и их обитатели, а потому для нас она представляется отнюдь не второстепенной деталью Вселенной.

2. Каково среднее содержание химических элементов в земном шаре?

По В.А. Руднику и Э.В. Соботовичу (1984 г.), в составе земного шара доминирует *железо* – 41,87%, *кислород* – 27,27%, *кремний* – 12,23%, магний – 10,68%, никель – 3,14%, сера – 1,41%, кальций – 1,06%, алюминий – 1,02, калий – 0,74% и др.

В составе Земли доминирует (по Мэйсону): Fe – 38,8%, O – 27,17%, Si – 13,84%, Mg – 11,25%, S – 2,74%, Ni – 2,7%, Al – 1,07%.

По другим данным в составе Земли (%): Fe – 34,6, O – 29,5, Si – 15,2, Mg – 12,7, Ni – 2,4.

Таким образом, по отношению к Земле вполне уместно название из произведения Кира Булычева (Тайна третьей планеты) – планета «Железяка».

3. Какой химический элемент самый распространенный у нас под ногами в земной коре?

Американский ученый *Ф.У. Кларк* впервые составил схему распространения химических элементов в земной коре. Кларк занимался изучением химического состава пород более 40 лет и опубликовал результаты своих анализов в 1889 г. Для подсчетов Ф.У. Кларк использовал огромное число анализов горных пород из разных районов земного шара. В результате он пришел к выводу, что наиболее распространенным химическим элементом земной коры является *кислород*, составляющий почти половину – 49% её массы. Таким образом, у нас под ногами преобладает кислород. Отметим, что в атмосфере Земли содержание кислорода ниже (около 21%), чем в литосфере.

Помимо кислорода Земная кора содержит Si – 26%, Al – 7,5%, Fe – 4,2%, Ca – 3,3%, Na – 2,5%, Mg – 2,4%.

Из химических соединений в земной коре доминирует оксид кремния. По одним из расчётов 58% массы коры приходится на кремнезём (SiO_2), 15% на глинозём (Al_2O_3), 8% на окислы железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ и др.), 6% на оксид кальция (CaO), по 4% на MgO и Na_2O .

4. *В какой из геосфер (литосфера, гидросфера, атмосфера, биосфера) кислорода содержится меньше всего?*

Как ни парадоксально в атмосфере кислорода всего около 21% , тогда как в литосфере 49% , гидросфере 86% , биосфере в живых организмах более 50% . В составе земного шара на кислород приходится около 27-30% .

5. *В честь какого югославского сейсмолога была названа граница раздела литосферы и верхней мантии?*

В 1909 г. сейсмолог *А. Мохоровичич*, анализируя результаты сейсмозаписей землетрясений на Балканах, обнаружил, что на глубине 54 км (в среднем 5-17 под океаном и 65-75 км под континентом) происходит резкая смена физических свойств вещества Земли с твердой на жидко-пластичную. Эту линию назвали в честь первооткрывателя данного явления – граница Мохоровичича.

6. *Какое химическое соединение доминирует в инопланетных камнях – метеоритах и лунных базальтах?*

При сравнении состава каменных метеоритов (ахондритов), лунных базальтов и земных базальтов с океанического дна выясняется их сходство. Во всех названных соединениях доминируют: SiO_2 – 43-49% , Al_2O_3 – 11-14% , Fe_2O_3 + FeO – 12-20% , CaO – 9-11% , MgO – 7-14% и на другие окислы приходится 3-6% .

Железные метеориты почти целиком состоят из железа (90,8%) и никеля (8,6%) .

Средний химический состав метеоритов разных классов на 90% представлен O , Si , Fe , Mg , Ca , Ni , S . В метеоритах к настоящему времени установлено присутствие 140 минералов, большинство которых сходны по составу с минералами земной коры. Наиболее распространены в метеоритах – *оливин* $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$, *пироксен* $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ и *самородное железо*, на которое в сумме приходится более 80% массы исследованных метеоритов.

7. *Можно ли Землю назвать «каменным шаром», летящим в космосе?*

Назвать Землю каменным шаром, конечно, можно, но фактически это не будет соответствовать истине. Англичанин Г. Кавендиш первым «взвесил» Землю (1798 г.) и пришел к выводу, что средняя плотность земного шара равна $5,52 \text{ г/см}^3$, а вся масса планеты 6×10^{21} т. Когда Г.

Кавендиш обнаружил результаты «взвешивания», ученые ему не поверили, так как планета оказалась почти в два раза тяжелее каменного шара такой же величины. Земля, таким образом, тяжелее камня такого же размера вдвое.

Наиболее распространенные на Земле горные породы характеризуются плотностью 2-3 г/см³. Для глины она, например, составляет 1,5-2,2 г/см³, для песчаника 2,2-3 г/см³, для гранита – 2,7, базальта – 2,9 г/см³. Таким образом, планетарная плотность Земли оказалась значительно выше значений плотности наиболее распространенных на поверхности пород (камней), она сопоставима лишь с плотностью металлов, в свободной форме обычно встречающихся крайне редко или вообще не встречающихся. Так, плотность железа 7,88 г/см³. С точки зрения химии, Землю правильнее было бы назвать *«железо-каменным шаром»*.

8. *Какая горная порода является самой распространенной на земном шаре?*

Мантия имеет ультраосновной состав, и ее составляет гипотетическая порода – *пиролит*, представляющая собой смесь перидотита (75%), толеитового базальта, или лерцолита (25%). В земной коре около 60% массы приходится на группу полевых шпатов (альбит, олигоклаз, ортоклаз – Na(Ca)[AlSi₃O₈], K[AlSi₃O₈]) и кварц (SiO₂) – 12%. Учитывая, что на мантию приходится 67,8% массы Земли, а на земную кору 0,2% (ядро – 32%), следовательно, *перидотит* – самая распространенная горная порода в Земле, масса которого примерно в 254 раза больше массы всей земной коры и на который приходится около 51% массы всей планеты.

Перидотит – темная, обычно с зеленоватым оттенком плутоническая порода. Название получила от перидота – одного из синонимов оливина. Минеральный состав (по Шуману, 1957) в %: оливин – 66, пироксен – 31, апатит, рудные минералы – 3. Таким образом, *оливин* самый распространенный минерал в составе земного шара.

Оливин ((Mg,Fe)₂[SiO₄]) – силикат магния и железа, получил название по своему цвету, схожему с цветом плодов оливы (желто-зеленый). Чистые крупные кристаллы оливина известны как драгоценные камни – хризолиты. В земной коре оливина содержится всего 2-3% от ее веса.

9. *Какая горная порода широко распространена на Земле, не встречается на других планетах Солнечной системы?*

Сопоставление данных о строении Земной коры и коры других планет показывает наличие у земной коры сплошного осадочного и мощного гранитного слоя в пределах материков. Ни на одной из планет земной группы (на Луне, Меркурии, Марсе, Венере) гранитов вообще нет, они свойственны только Земле; не сплошной осадочный чехол – только у Марса.

На основании очень высокого содержания в гранитах кремнезема по сравнению с глубинными породами В.И. Вернадский считал, что *граниты* – это осадочные породы, претерпевшие глубокий метаморфизм. Такая точка зрения нашла всеобщее признание. О распространении гранитов на Земле можно судить по тому факту, что у материковых платформ мощность гранитного слоя достигает 10-15 км, а в геосинклинальных орогенных структурах (Б. Кавказ) – 20-25 км.

Таким образом, обычный для Земли гранит является уникальной породой, не встречаемой на других планетах. Сам гранит – глубинная порода, возникшая из огненно-жидкого расплава, состоит из «Полевой шпат, кварц, слюда – не забуду никогда», – так звучит в русском переводе народная присказка у немецких горняков. Химический состав гранитов: SiO_2 – 70%, Al_2O_3 – 15%, K_2O – 4,5%, Na_2O – 3,5%, CaO – 2%, FeO – 2%, Fe_2O_3 – 1,5%, MgO – 1%, плотность – 2,7 г/см³. Минеральный состав гранитов: полевые шпаты – 60-65%, кварц – 25-30%, биотит, роговая обманка – 5-10%. Среди геологов существует выражение: «Гранит – визитная карточка Земли».

Проблема гранитов очень сложна и единого мнения об их происхождении нет, тем более, что на других планетах кислых пород, к которым относятся граниты, нет. Граниты признаются как вторичные породы, но прошедшие расплавление или глубокий метаморфизм и, в конце концов, превратившиеся в магматические кристаллические породы.

10. В каком агрегатном состоянии – твердом или жидком находится вещество в недрах земного шара?

Вещество подкоркового слоя, или астеносферы, на глубинах от 40 до 400 км признается аморфным, стекловидным, находящимся в полурасплавленном состоянии, а *частично в расплавленном*. Оно напоминает такие аморфные вещества, как асфальт, сургуч, стекло. Вещество, обладающее такой вязкостью, течет при нагрузках, действующих на протяжении тысячелетий, но ведет себя как упругое твердое тело при кратковременных возмущениях, которые свойственны сейсмическим волнам, возникающим при колебаниях Земли.

Изучение земных приливов дает ценную информацию о твердости Земли в целом, т. е. о сопротивлении, которое она оказывает изменению ее формы внешними силами. Ясно, что если бы Земля была абсолютно твердой, то никаких приливов в ее теле не было бы. Зато средняя высота морских приливов была бы не 80 см, как это наблюдается в действительности, а около 120 см.

Если же Земля была бы полностью жидкой, то мы не наблюдали бы морских приливов, так как дно и берега океанов поднимались и опускались бы на столько же, на сколько и уровень воды в океанах. Расчеты показывают, что высота морского прилива составляет $2/3$ его высоты по отношению к теоретически абсолютно твердой Земле и фактически твердость вещества Земли равна твердости стали.

Верхняя и нижняя мантии с глубины 400 до 2700 км по скорости прохождения сейсмических волн оцениваются как твердые. Внешнее ядро Земли на глубинах 2900-4990 км признается находящимся в жидком состоянии, поскольку поперечные сейсмические волны уменьшают свою скорость. Внутреннее ядро с глубины 5120 до 6371 км вследствие высокой скорости прохождения через его вещество продольных сейсмических волн признается находящимся в твердом состоянии. Таким образом, вещество недр Земли одновременно твердое, упругое как сталь, но и с признаками жидкости, что проявляется в лунных приливах.

11. Какова скорость конвективных потоков в мантии Земли?

По расчетам некоторых ученых скорость восходящего мантийного потока составляет примерно 18 см в год. В этом случае, чтобы подняться потоку из низов мантии к подошве, потребуется 15-20 млн. лет. Достигнув подошвы литосферы, восходящий поток начинает растекаться под ней в разные стороны, вызывая в ней поднятия и вспучивания. Рост железного ядра и конвективные потоки внутри планеты порождают движение плит земной коры.

В настоящее время ядро представляет собой железный шар диаметром около 2600 км, который растет со скоростью 1 см в год. При образовании твердого железа выделяется теплота. Она и является причиной конвекции помимо радиоактивного распада.

По расчетам О.Г. Сорохтина образование ядра в процессе механической дифференциации вещества сопровождалось выделением $1,46 \cdot 10^{38}$ эрг энергии, тогда как радиоактивный распад за всю историю Земли дал не более $0,4 \cdot 10^{38}$ эрг, или в 3,65 раз меньше. Разуплотненные и горячие массы мантийного вещества, размеры которых не под-

даются воображению, испытывают гравитационную неустойчивость и как более легкие образования тенденцию к всплытию. На их место опускаются более тяжелые, еще не про дифференцировавшиеся объемы мантийного вещества, и процесс повторяется вновь.

По-видимому, железо как более тяжелый элемент постепенно приближается к ядру. Ядро, однако, не может состоять из чистого железа. В качестве добавки в него входит весьма распространенный элемент – кислород. В условиях больших давлений и температур на 2 атома железа приходится один атом кислорода, т. е. железо становится одновалентным. Таким образом, из оксидов железа непрерывно выделяется кислород, который вместе с другими легкими соединениями движется от центра Земли. Таким образом, кислород постоянно выделяется в атмосферу из недр Земли. Математическое моделирование дальнейшего роста ядра показало, что этот процесс должен закончиться через 2 млрд. лет, причем атмосфера Земли при этом увеличиться во много раз. Современные формы жизни при таких условиях станут невозможными.

12. Какой химический элемент является по расчетам геофизиков основным источником тепла в недрах Земли?

Уран дает 93% тепла, а торий и калий по 3,5% каждый.

По расчетам, кроме радиоактивного распада, энергию дают: геохимические реакции, энергия сжатия, ротационное тепло, т. е. тепло, выделяющееся под влиянием вращения Земли вследствие неоднородного распределения по плотности вещества литосферы и верхней мантии, что приводит к трению отдельных блоков, слагающих наружные оболочки Земли, друг о друга.

13. По предположению учёных, источником разогрева недр Земли является распад радиоактивных элементов. Сколько потребуется времени, чтобы довести 1 стакан воды до кипения с помощью радиогенного тепла, выделяемого 1 м³ гранита?

Около 500 лет. Однако в масштабах планеты за 1 млрд. лет роль радиогенного тепла очень велика. Так, учёные подсчитали, что если бы содержание радиоактивных элементов в Земле в целом соответствовало их содержанию в земной коре, то выделяемого тепла хватило бы не только для расплавления, но и для испарения всей нашей планеты.

14. Почему недра планеты горячие?

Внутренние источники энергии Земли по Свиточу (2004) – это энергии **аккреции** (лат. accretio – «приращение, увеличение»), процесс падения вещества на космическое тело из окружающего пространства. Аккреция способствовала выделению энергии ($2,5 \times 10^{32}$ Дж), и по расчетам её было достаточно для расплавления планеты.

Гравитационная энергия, выделяемая в результате сжатия и дифференциации вещества (железо к центру, легкие вещества кверху) выделила 1×10^{31} Дж.

Радиоогенная энергия, выделяемая при распаде ядер урана, тория, радиоактивных изотопов других элементов, за 4,5 млрд. лет выделила 10^{31} Дж. С учетом неопределенности в оценке аккреационной энергии все три вида энергии примерно по величине равны.

По гипотезе американского астрофизика А. Камерона, Луна образовалась при столкновении прото-Земли с другой планетой, по массе составляющей около 0,12 земной массы (представьте себе столкновение Земли с Марсом!). При столкновении планет выделилось столько энергии, что Земля расплавилась, а из роя осколков образовалась Луна. Приняв эту гипотезу, можно объяснить, почему Луна относительно легкая, без ядра, поскольку образована она из силикатных оболочек сталкивающихся планет.

Чтобы понять роль **гравитационной** энергии, рассмотрим общий механизм формирования планеты. Каждое падение астероида увеличивает массу зародыша планеты. Когда она достигает критической массы (около 10^{20} кг), протопланета (1/60000 массы Земли) начинает перестраиваться в шар под действием сил тяготения. Вещество вблизи центра шара уплотняется. При этом гравитационная энергия всей планеты уменьшается, и эта разность энергий выделяется в виде тепла непосредственно в недрах. От разогрева начинается частичное плавление недр планеты.

В расплаве тяжелые минералы, главным образом железосодержащие, тонут к центру, более легкие, силикатные, вытесняются в наружную оболочку. Интенсивно выделяются из недр газы, формируя гидро- и атмосферу. Эта гравитационная дифференциация вещества выделяет в недрах тепловую энергию, даже большую, чем энергия, выделяющаяся просто при сжатии.

При массе протопланеты, достигшей примерно 10^{22} кг (1/600 от массы современной Земли), этой выделенной энергии достаточно для плавления или размягчения большинства минералов, входящих в состав углистых хондритов. По расчетам, приведенным А.В. Бялко (1989), на нагревание недр Земли была израсходована, по крайней ме-

ре, гравитационная энергия $5,3 \times 10^{33}$ Дж (без учета вклада катастрофических столкновений, которые, возможно, привели к образованию Луны).

По самой грубой оценке полученная величина более чем вдвое превышает современный запас тепловой энергии, содержащиеся в расплавленном и нагретом до 3000-4000 °С земном ядре и мантии.

Гравитационная дифференциация одновременно выделяет тепловую энергию в недрах и способствует её выходу к поверхности, поскольку легкие фракции, поднимаясь наружу, несут с собой тепло из недр. Этот перенос тепла и масс выглядел на заре существования Земли как мощные извержения множества вулканов. В первый миллиард лет истории планеты к её поверхности было перенесено по грубым подсчетам до половины выделившейся там и перешедшей в тепло гравитационной энергии.

Этот избыток тепла позволил Земле в первый миллиард своего существования не оледенеть, поскольку Солнце в начале своей эволюции было на 3-4% прохладней, а светимость была на 25-30% ниже современной. Подобный радиационный поток по расчетам для современной Земли привел бы к полному оледенению Земли с невозможностью потепления (высокое альbedo льда не позволило бы нагреться Земле до современных значений).

Таким образом, недра планеты горячи за счет аккреции, гравитационной энергии и радиационной энергии, а избыток внутреннего тепла в начале эволюции Земли позволил Земле не замёрзнуть под лучами относительно «прохладного» Солнца.

15. За какое время сейсмические волны пересекают земной шар?

Глубокие сейсмические волны идут сквозь Землю со скоростью 18000 км/ч и преодолевают диаметр земного шара примерно за 45 минут.

Скорость распространения упругих колебаний, возникающих в очаге землетрясения, довольно велика и изменяется от 8-8,5 км/с вблизи центра землетрясения до 12,5-13 км/с на большом удалении от него. Так, от землетрясения на Камчатке упругая волна будет отмечена в Чите через 5 мин 55 с, в Москве через 10 мин 30 с, на противоположной стороне Земного шара, в южной части Атлантики, приход волны будет зарегистрирован примерно через 20 минут.

Упругие волны от землетрясений регистрируются на сейсмических станциях, находящихся от эпицентра на расстоянии до 11,7 тыс. км, т.е. практически в пределах полушария с очагом землетрясения в

центре. При дальнейшем удалении от эпицентра примерно до 16 тыс. км располагалась полоса «сейсмической тени», в пределах которой упругие волны от этого землетрясения практически не будут ощущаться, и лишь на противоположной землетрясению части Земли сейсмические волны будут зарегистрированы на «пяточке» радиусом 4 тыс. км.

16. Как меняется температура в недрах Земли с глубиной?

Величина геотермической ступени до глубины 3-5 км от поверхности в среднем равна $33 \text{ м/на } 1^\circ\text{C}$. Это значит, что при углублении на каждые 33 м температура недр в среднем повышается на 1 градус. На Камчатке температура недр повышается на 1°C через каждые 3 м, а в Прикаспийской низменности – через 46 м, в Татарстане – через 146 м.

По одной из моделей внутреннего теплового поля, предложенной Е.А. Любимовой, на глубине 10 км геотермическая ступень равна $55 \text{ м/}^\circ\text{C}$, на глубине 100 км – $80 \text{ м/}^\circ\text{C}$, 150 км – $100 \text{ м/}^\circ\text{C}$, 200 км – $200 \text{ м/}^\circ\text{C}$. Таким образом, с глубиной скорость нарастания температуры падает, а значение геотермической ступени в ядре, возможно, возрастает до нескольких километров на градус.

17. Насколько недра Земли и Солнца соответствуют представлению об аде, действительно ли там «адские» физические условия?

Физические условия в ядре Земли (радиус около 3,5 тыс. км) по расчетам действительно могут ассоциироваться с представлением об аде. Температура в ядре достигает 5000°C , что сопоставимо с температурой на поверхности Солнца (около 6000°C). Плотность вещества, сжатого колоссальным давлением, почти вдвое выше, чем у железа и достигает $12,5 \text{ г/см}^3$. Давление в 3,7 млн. раз больше атмосферного.

Все же «адские условия» в недрах Земли покажутся «раем» на фоне аналогичных показателей в недрах Солнца. Так, давление в ядре Солнца достигает 300 млрд. атмосфер, что в 81 тыс. раз больше давления в ядре Земли. Плотность вещества при таких условиях более, чем в 10 раз превышает аналогичные показатели в ядре Земли и достигает 150 г/см^3 (почти в 13 раз плотнее свинца и в 19 раз железа). Температура в ядре Солнца достигает 15 млн. градусов, что в 3000 раз превышает показатель температуры ядра Земли. Подобные «сверхадские» условия позволяют осуществляться термоядерным реакциям в Солнце, проявляющиеся слиянием протонов с появлением атомов гелия.

Было замечено, что энергия, выделяющаяся в ядре Солнца, доберется до наружных оболочек по разным оценкам не менее чем за 150

тыс. лет, чтобы потом за 8 минут долететь до Земли. В центральных областях Солнца протоны двигаются при 10 млн. градусах со скоростью 300 км/с, при этом каждый протон сталкивается с другими 1 млрд. раз в секунду.

18. Когда и каким образом было открыто твердое ядро Земли?

Ядро было открыто в 1936 г., когда выяснилось, что сейсмические волны отклоняются в центре Земли. Если бы внутреннее ядро было бы жидким, как и внешнее, то этого отклонения не наблюдали бы.

ГЛОБАЛЬНЫЙ РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

1. Можно ли сказать, что современный вариант распределения материков по поверхности Земли удачный?

Географическое значение современного распределения континентов и океанов по Земле легко понять, если прибегнуть к доказательству от обратного.

Допустим, что все материки собраны в единую Пангею. Очевидно, что внутренние её площади были бы безводны. При дроблении суши на небольшие островные массивы не было бы континентального климата, степной и пустынной зон. Если бы материки при их натуральной величине располагались только вдоль экватора или только в умеренных и полярных широтах одного или обоих полушарий, то, как совершенно очевидно, климатические и биогеографические условия были бы другие. Иной была бы и географическая оболочка. Современное положение континентов дает такую основу, на которой географическая поясность, зональность и региональность проявляются с максимально возможным разнообразием: есть морской и материковый варианты каждого географического пояса, что создает основу для бурной биологической эволюции и максимально возможным разнообразием видов.

Таким образом, можно утверждать, что современное расположение континентов весьма удачно. Удачным, кстати, следует признать и соотношение океанов и суши на Земле. Меньшая площадь океанов была бы чревата большим альбедо планеты, большей континентальностью и общим более холодным климатом с возможным оледенением большей части планеты. При меньшей площади суши (меньше современных 27%) климат был бы более теплым и в целом океаническим, что сделало бы географическую оболочку относительно однообразной (возможно без природных зон тундры, тайги, пустынь, степей).

2. Какие части света имеют наибольшую долю древних докембрийских платформ, а какие наименьшую, состоя в большой степени из горных стран?

Платформенные равнины в большей степени представлены: в Африке – 84%, Ю. Америке – 77% и Австралии – 74%, Европе – 70% и С. Америке – 61%. (по суше в целом – 64%). Горные страны доминируют в Азии – 57% (по суше в целом 36%).

3. В какой стране находится самый глубокий каньон?

В Перу каньон Эль-Каньон де Колка имеет глубину 3223 м.

4. До какой высоты теоретически могут возвышаться горы на Земле?

Силы гравитации нашей планеты не позволяют горам подняться выше 11 км.

5. Назовите самую высокую гору Земли.

По результатам измерений спутниковой системы позиционирования наивысшая гора Земли от уровня моря – *Чогори* (8905 м) в Гималаях, а не Эверест-Джомолунгма (8848 м).

6. На какую вершину необходимо взобраться альпинисту, чтобы оказаться в самой удалённой точке на поверхности Земли от центра планеты?

Вершина вулкана *Чимборасо* (высота 6267 м над уровнем моря) расположена на 2150 м дальше от центра Земли, чем вершина Эвереста (высота 8848 м над уровнем моря). Дело в том, что Чимборасо расположен на экваторе, где любая точка на уровне моря Земли изначально расположена дальше от центра планеты, по сравнению с любыми другими точками на уровне моря за счет центробежной силы. Эверест же расположен почти в трех тысячах километров от экватора.

7. Назовите на поверхности Земли самую удалённую и самую близкую точки к центру Земли?

Дальше всего от центра Земли удалена вершина вулкана *Чимборасо* в Эквадоре, удалённая на 27,68 км от центра дальше уровня Северного Ледовитого океана на Северном полюсе (полярный радиус Земли равен 6356,85 км, а экваториальный 6378,245 км), тогда как

вершина Эвереста удалена на 25,5 км от уровня Северного полюса, или на 2,18 км ближе к центру, по сравнению с Чимборасо.

Наиболее близкая к центру Земли точка расположена *на дне Гренландского моря* с отметкой дна на 4,74 км ниже, чем уровень поверхности Северного полюса (дно океана в районе Северного полюса ниже ледовой поверхности на 4,32 км). Благовещенск примерно на 7 км дальше от центра, чем Северный полюс, и на 14 км ближе, чем уровень океана на экваторе.

О СЕВОВОЕ ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

1. Кто задолго до Коперника логически обосновал, что не Солнце вокруг Земли, а Земля вращается вокруг Солнца?

Греческий ученый *Аристарх* (310-250 гг. до н. э.) в результате наблюдений за лунными затмениями и знаний геометрии доказал, что Луна в 3 раза меньше Земли, а Солнце больше земного диаметра в 6 раз (в действительности в 109 раз). Главным в работе Аристарха был не результат, а сам факт вычисления, доказавший, что недостижимый мир небесных тел может быть познан с помощью измерений и расчетов.

Аристарх догадался, что большое Солнце не может обращаться вокруг маленькой Земли. Вокруг Земли вращается только Луна. Солнце есть центр Вселенной, вокруг него и обращаются планеты. Эта теория получила название гелиоцентрической.

Смену дня и ночи на Земле Аристарх объяснил тем, что Земля вращается вокруг своей оси. Современники Аристарха отвергли гелиоцентризм. Его обвинили в богохульстве и изгнали из Александрии.

Более чем через 300 лет римский ученый Клавдий Птолемей обосновал то, что центр мира Земля, что станет мировоззрением на 1400 лет до XVI в.

2. Кто из ученых удостоился славы «остановить Солнце и двинуть Землю»?

Польский ученый *Николай Коперник* (1473-1543) жил в маленьком польском городке Фромборке у берегов Балтики – «на краю обитаемой Вселенной», как он сам говорил. По Копернику, не Земля, а Солнце находится в центре мира, Земля же просто одна из планет, обращающихся вокруг этого светила. До Коперника господствовало представление о том, что Земля – центр Вселенной, вокруг которой вращаются Солнце и другие планеты. Данную картину мира описал в

фундаментальном труде «Альмагест» Клавдий Птолемей, живший в Александрии во II в. н. э. На памятнике Копернику в Варшаве высечены гордые слова: «Остановивший Солнце и двинувший Землю».

3. Кто из ученых впервые доказал, что Земля вращается вокруг своей оси?

Николай Коперник в своей книге «О вращении небесных сфер», вышедшей в 1543 г., высказал и обосновал мысль, что Земля вращается вокруг Солнца и вокруг своей оси, однако наглядных доказательств вращения не было.

В XVII в. знание о вращении Земли стало общепринятым фактом, хотя прямых доказательств ему не было. Лишь в 1802 г. Ф. Бенцерберг в Гамбурге серией опытов экспериментально доказал вращение Земли. Для этого с башни высотой 76 м бросали груз, который от вертикали отклонялся при падении на 9 мм. В шахте высотой 85 м отклонение достигало 11,5 мм. Ф. Рейх в Саксонии тоже в шахте, при высоте падения 158 м получил отклонение в 28,4 мм. Оказывается, что везде, кроме полюсов, вершины башен, зданий, труб и даже голова человека движутся быстрее, чем подножия или ноги человека. При свободном падении с башни без горизонтального толчка падающее тело сохраняет вследствие инерции приобретенную на башне линейную скорость, направленную с запада на восток, и, упав на землю у подножия башни, отклоняется в сторону вращения башни, т.е. к востоку.

Наиболее наглядно и убедительно вращение Земли доказывается опытом, основанном на свойстве маятника, подвешенного так, чтобы он мог свободно качаться в любом направлении, сохраняя относительно внешнего пространства плоскость своих колебаний при вращении опоры, к которой он подвешен. Соответственно опыт был впервые продемонстрирован французским физиком *Л. Фуко* в 1851 г. в здании парижского Пантеона. Маятник, длиной в 67 м, состоял из проволоки, на которой висел латунный шар массой 28 кг. Отклоненный в сторону и затем освобожденный без бокового толчка маятник сохранял направление своих качаний относительно внешнего пространства, независимо от здания вращавшегося вместе с Землей. На полюсе плоскость маятника совершит относительно Земли оборот в 360° за сутки, тогда как на экваторе маятник сохранит плоскость качания без изменений.

В Париже на широте $48^\circ 50'$ плоскость качания маятника поворачивалась за сутки на $360^\circ \times \sin(\text{широты}) = 271^\circ$, так что полный оборот на 360° она совершает в $360 / 271$ суток, или за 32 часа.

После успешной демонстрации качающегося маятника опыт демонстрировался много раз в различных местах. В Санкт-Петербурге в Исаакиевском соборе длина маятника составляет 98 м и благодаря большей широте, равной 60° , плоскость качания совершит полный оборот за 27,7 часов.

Таким образом, столь, казалось бы, очевидное явление как суточное вращение Земли вокруг оси от момента обнаружения Коперником в середине XVI в. до экспериментов с падающими ядрами и маятником в начале XIX в. было не доказанным более 250 лет.

4. За какое время Земля совершает оборот вокруг своей оси, или какова продолжительность одних суток?

Если с помощью закрепленного телескопа прицелиться на какую-нибудь звезду и зафиксировать время, то обратно увидеть её можно сутки спустя. «Что же тут определять? – скажет эрудированный читатель. – Визир телескопа вернется к звезде через 24 часа!» Однако точное наблюдение покажет, что Земля делает оборот вокруг оси не за 24 часа, как написано во многих книжках, а за **23 часа 56 мин!** Об этом можно рассказать всем, потому что это истина. Мы мерили время оборота нашей планеты относительно очень далеких небесных тел – звезд, которые за сутки никак не могли заметным образом изменить свое положение на небосводе. Но что же это за сутки – 23 ч 56 мин? И что тогда показывают обычные часы? И откуда 4 мин разницы? Назовем сутки, измеренные по звездам, звездными и снова перейдем к наблюдениям, на сей раз за Солнцем.

Наблюдение за гномоном от момента полудня одного дня до полудня другого дня (по самой короткой тени) покажет, что интервал между полуднями составляет 24 часа. Солнечные сутки на 4 мин больше звездных. Вследствие движения вокруг Солнца Земля каждые сутки смещается на фоне звезд на 1° , а скорость осевого вращения Земли составляет 1° в 4 мин. Потому-то Земля завершает оборот относительно Солнца с опозданием на 4 мин. За сутки звездный и солнечный обороты Земли расходятся на 4 минуты, за месяц – на 120 минут, за год – на 24 часа. В году звездных суток на один больше, чем солнечных. Человек живет днями и ночами по солнечным часам. Таким образом, по обычному солнечному календарю суток в году 365, однако полных оборотов вокруг оси на одни сутки больше – 366, и один полный оборот равен 23 часам 56 минутам, тогда как солнечные сутки на 1° на 4 минуты больше (не 360° оборот, а 361°).

5. Как называют силу, отклоняющую воздушные потоки в атмосфере и речные воды на суше в северном полушарии вправо, в южном – влево по ходу движения?

Сила Кориолиса, названная по имени французского физика *Гюстава Кориолиса* (1792-1843 гг.), который объяснил ее суточным вращением Земли вокруг оси.

6. Какие планетарные ветры, фактором своего существования доказывают вращение Земли вокруг оси?

Как известно, при вращении Земли линейная скорость вращения на параллелях увеличивается от полюсов к экватору: на полюсе она равна нулю, на широте 50° – 300, а на экваторе 465 м/с. Всякая точка, имеющая скорость вращения своей параллели, стремится сохранить эту скорость при всех условиях. При перемещении по меридиану от полюса к экватору любой объект попадает в области с большей скоростью, поэтому отстанет от начального меридиана к западу. Это обстоятельство, обусловленное вращением Земли, вызывает постоянство направления пассатных ветров.

Нагретые в экваториальной зоне воздушные массы устремляются вверх, а в образовавшееся разреженное пространство движутся более холодные массы от средних широт с севера и юга. Если бы Земля не вращалась, воздушные массы двигались бы по меридианам, и ветры были бы северные и южные. В действительности, приходящие с севера воздушные массы из-за вращения Земли уклоняются, образуя северо-восточный пассат, а южные массы уклоняются влево, образуя юго-восточный пассат. Таким образом, пассаты своим существованием также демонстрируют вращение Земли.

Циклоны и антициклоны также наглядно демонстрируют вращение Земли. В циклоне (область пониженного давления) массы воздуха, устремленного к центру низкого давления, двигались бы прямолинейно, если бы Земля не вращалась; вращение же Земли отклоняет в Северном полушарии все воздушные массы вправо, вследствие чего они и образуют спиральный воздушный вихрь, в котором массы воздуха с большой скоростью перемещаются против часовой стрелки. В антициклоне из-за повышенного давления воздушные массы устремлены к периферии, загибаясь вследствие вращения Земли вправо; получается вихрь с движением по направлению часовой стрелки. Эти же явления, служащие демонстрацией вращения Земли, в южном полушарии происходят в обратном порядке.

Сила Кориолиса сказывается и при движении поездов. Если поезда идут по одной колее и в одном направлении, сильнее изнашивается правый рельс. При точном прицеливании на дальнем расстоянии даже артиллерийский снаряд отклоняется вправо от точки прицеливания.

7. *Может ли географический полюс Земли менять свое местоположение за длительный промежуток времени?*

По расчетам академика А.А. Михайлова, вековое движение полюса происходит вследствие сдвига земной коры по подстилающей ее вязкой массе относительно оси вращения. Он приходит к заключению, что полюс движется в направлении 83° з. д. Если предположить, что вековое движение северного полюса постоянно как по величине, так и по направлению и равно 0,3-0,4" в столетие, что вытекает из исследований многих ученых, то Северный полюс Земли примерно через 60 млн. лет будет вблизи Вашингтона. При этом экватор Земли приблизится к Москве примерно на 40°, и она будет в таких же климатических условиях, как, например, Йемен или Эфиопия. В древние эпохи Южный географический полюс был, например, на территории Южной Африки, что сопровождалось покровным оледенением околополюсного пространства.

8. *В каком направлении вращается Земля вокруг оси и вокруг Солнца, по или против часовой стрелки, если смотреть на Землю со стороны северного полюса?*

Против часовой стрелки, или с востока на запад. При этом скорость осевого вращения в Благовещенске на 50° с. ш. равна 298 м/с, на экваторе – 464, а на полюсе – 0 м/с. Воздушные потоки реагируют на осевое вращение, поворачивая по ходу движения вправо в северном полушарии и влево в южном.

При длине суток не 24 часа, а всего в 80 минут центробежная сила вращения превысила бы силу гравитации, и Земля стала бы разлетаться на куски в районе экватора.

9. *Можно ли утверждать что отвес – нитка с грузом будет указывать направление к центру Земли?*

При условии, если Земля не вращалась бы вокруг оси, на полюсах и на экваторе линия отвеса указывала бы на центр земного шара, однако благодаря осевому вращению и, как следствие, центробежной силе отвес несколько отклонён к экватору (для северного полушария к югу). Таким образом, в северном полушарии, в средних широтах направле-

ние к центру планеты будет отклонено от линии отвеса несколько к югу.

10. При движении в каком направлении (север, юг, запад, восток) вы будете легче, а в каком – тяжелее всего?

Тяжелее (т.е. сильнее давит на поверхность) тот пешеход, который движется против вращения Земли, с востока на запад. Этот пешеход медленнее движется вокруг оси, земного шара, поэтому, вследствие центробежного эффекта он теряет из своего веса меньше, чем пешеход, идущий на восток. Как велика разница?

Пешеходы, шагающие по улицам российских городов с запада на восток, при скорости ходьбы 5 км/ч, становятся примерно на 1,5 г легче, чем идя с востока на запад. Поезд массой 3500 т при скорости 72 км/ч, идя на восток, становится на 1050 кг легче по сравнению с поездом, идущим на запад, и на 0,5 т легче неподвижного поезда.

Для крупного парохода водоизмещением в 20 тыс. т, движущегося со скоростью 35 км/ч, разница составляла бы 3 т. При движении пешехода на север пешеход будет несколько тяжелее, чем при движении на юг, в сторону экватора, поскольку у полюсов скорость осевого вращения меньше, и соответственно меньше центробежная сила. Человек массой 100 кг на полюсе на пружинных весах будет весить почти на 500 грамм больше, чем на экваторе [Перельман, 1966, с. 27].

11. Изменяется ли вес на поверхности Земли в течение суток и различные фазы луны?

На экваторе, благодаря вращению Земли, сила тяжести наименьшая (слиток золота, весивший на пружинных весах на полюсе 1000 г, на экваторе будет весить 995 г). Однако в полдень и полночь в новолуние и полнолуние благодаря притяжению Солнца и Луны на Земле наблюдаются максимальные приливы и наблюдается наибольшее ослабление силы тяжести.

12. Во сколько раз должна была бы возрасти скорость осевого вращения Земли, чтобы на экваторе тела стали невесомы?

Для того чтобы на экваторе установилась невесомость, скорость осевого вращения Земли должна была бы возрасти в 17 раз, достигнув продолжительности в 1,5 часа. Кстати, скорость осевого вращения у Юпитера на экваторе достигает 43 тыс. км/час (полный оборот вокруг своей оси занимает 9 часов 50 мин). Если такую экваториальную скорость придать Земле, то наша планета делала бы полный оборот во-

круг оси не за 24 часа, а всего за 56 минут, что не позволило бы в экваториальной зоне удерживать тела на поверхности планеты.

13. Как со временем меняется скорость осевого вращения Земли и что является главным «тормозом», замедляющим суточное вращение планеты?

В результате векового замедления длительность суток непрерывно возрастает примерно на 0,001-0,002 секунды в столетие. Величина эта весьма ничтожна. За 1 млрд. лет сутки удлиняются на 3-5 часов, а за время существования Земли (4 млрд. лет) сутки – один оборот вокруг оси удлинились на 12-20 часов.

Главной причиной этого замедления является приливное трение, создаваемое Луной. Таким образом, основной «тормоз» вращения Земли – притяжение Луны, создающее на поверхности Земли приливные волны. Причем под действием притяжения Луны Земля как упругое тело деформируется, при этом даже суша два раза в сутки поднимается к Луне на 40-50 см.

В среднем сутки удлиняются *на 1 с за 40000 лет*. Замедление суточного вращения Земли уменьшает силу Кориолиса, воздействует на фигуру эллипсоида вращения (чем медленнее осевое вращение, тем меньше полярная сплюснутость Земли и тем ближе ее модель к форме сферы).

Изменение фигуры Земли, связанное с замедлением вращения, сопровождается выделением значительной энергии. Согласно расчетам замедление осевого вращения, приводящее к удлинению суток на 0,5 часа, должно высвободить энергию, достаточную для образования Альпийской горной системы.

14. Кто движется на восток быстрее, житель первого этажа или пятого?

Чем дальше находится точка от оси вращения Земли, тем больше линейная скорость, с которой она движется с запада на восток вследствие вращения Земли. Поэтому вершина башни, здания или горы перемещается к востоку с большей линейной скоростью, чем основание. Так, если с высокой башни уронить груз, то он упадет не отвесно вниз, а отклонится к востоку. Таким образом, житель пятого этажа движется на восток несколько быстрее, чем житель первого этажа. У стоящего на месте человека голова движется на восток быстрее, чем его ноги.

15. Могут ли меняться координаты какой-либо точки на поверхности Земли в течение года?

В течение года точки полюсов Земли перемещаются по околополюсному пространству по кругу с диаметром около 15 м в направлении суточного вращения Земли. По этой причине широта любой точки Земли, измеряемая по высоте полярной звезды над горизонтом, меняется в течение года с амплитудой 0,5-0,6" (минут) или на 25-35 метров.

16. Где в умеренных широтах (50° с. ш.) находится Солнце в полночь, т. е., стоя на местности, попытайтесь указать в вытянутой рукой примерное направление – вектор на Солнце?

В полночь в дни равноденствий Солнце располагается в северном направлении за линией горизонта. Став лицом на север, руку простираем вперед и вниз на 40°, и именно там мы увидели бы Солнце, если бы земной шар был прозрачным. Зимой руку, вытянутую на север, необходимо опустить еще на 20° вниз, а летом, наоборот поднять на 20° вверх от уровня весенне-осенних дней равноденствий. На экваторе в полночь Солнце будет «под ногами», т. е. в направлении, противоположном зениту.

17. Направление на север проще всего определить по полярной звезде, всегда ли направление на полярную звезду и на север сохраняется?

Ось вращения Земли, почти не изменяя угла наклона, сама поворачивается, *прецессирует* вокруг перпендикуляра к эклиптике. Период прецессии равен 26 тыс. лет. Это время, через которое Полярная звезда опять станет полярной, опять на неё будет направлена ось вращения Земли. В настоящее время и ближайшее десятилетие полярная звезда будет над северным полюсом, но потом постепенно будет уходить с северного направления. Таким образом, Полярная звезда лишь несколько столетий каждые 26 тыс. лет бывает на севере.

Следствием прецессии будет то, что через 13 тыс. лет зима, мороз будут приходиться в северном полушарии на июнь, июль месяц, а встреча «Нового года» 1 января придется на разгар жары (как в наши дни это ощущается в июле). Еще через 13 тыс. лет цикл прецессии завершится, и все сезоны встанут на свои места, как в наши дни.

18. Если предположить, что Земля перестала бы вращаться вокруг своей оси, как бы это отразилось на линиях тропиков, полярных кругов, продолжительность дня и ночи?

Если бы Земля не вращалась вокруг своей оси, то не было бы ни тропиков, ни полярных кругов, ни времён года (в обычном понимании). В любой точке Земли (кроме полюсов) полгода был бы день и полгода ночь (подобный контраст в освещении привёл бы к резкой амплитуде температур между днём и ночью), что формировало бы резкий контрастный климат.

На дневной стороне в тропических районах температура поднималась бы выше $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в тени падала бы до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Ураганные ветры перемещали бы массы воздуха с ночного (замороженного) полушария Земли на дневное (раскаленное) полушарие.

19. Как бы изменился климат Земли, если бы не было суточного вращения планеты?

Величайшим фактором для жизни человечества явилось то, что Земля при своем формировании получила устойчивое вращательное движение вокруг оси, создав тем самым день и ночь, что явилось основным условием появления на Земле умеренного климата, способствовавшего впоследствии возникновению всевозможных живых организмов, в том числе и человека. Без вращения Земли жизни на ней не было бы, хотя бы потому, что на освещенной стороне Земли температура поднялась бы на несколько сотен градусов, а на темной – упала бы до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

20. В какие дни года ось вращения Земли перпендикулярна солнечным лучам?

В дни равноденствия – 21 марта и 23 сентября.

21. При каком наклоне оси вращения Земли от вертикали можно было бы ожидать более холодного и более тёплого климата на Земле по сравнению с современным?

В настоящее время наклон оси – $23,5^{\circ}$ ($\pm 1,5^{\circ}$ за 41000 лет от 25 до 22°). Когда наклон оси уменьшался, поступление солнечной энергии в полярные области Земли снижалось, а когда увеличивался – это поступление возрастало.

Возможны пределы инсоляционных эффектов наклона оси, которые фактически никогда не достигались. Это – нулевая инсоляция в полярных областях при наклоне в 0° (как в дни равноденствий, что спровоцировало бы оледенение полярных шапок Земли с глобальным похолоданием) и одинаковое количество солнечной энергии, поступа-

ющее за год ко всем точкам земной поверхности при наклоне земной оси, равном 54° (с возможным максимально тёплым климатом)

ЗЕМЛЯ НА ОРБИТЕ ВОКРУГ СОЛНЦА

1. Какой ученый обнаружил, что ось Земли совершает медленный оборот по небесной сфере (прецессию), неравномерность движения и изменения расстояния от Земли до Солнца в течение года, научился предсказывать лунные и солнечные затмения с точностью до одного часа и вычислил расстояние от Земли до Луны?

Греческий ученый – астроном **Гиппарх** (II в до н. э.), живший на острове Родос в Эгейском море. Гиппарх первым ввел географическую сетку координат из меридианов и параллелей, позволяющую определить широту и долготу места на Земле.

Гиппарх обнаружил, что весна длится примерно 94,5 суток, лето – 92,5 суток, осень – 88 суток, и, наконец, зима продолжается приблизительно 90 суток. Отсюда следовало, что Солнце движется по эклиптике неравномерно – летом медленней, а зимой быстрее. Гиппарх предположил, что Солнце обращается вокруг Земли (он был сторонник геоцентризма) равномерно и по окружности, но Земля смещена относительно её центра. Такую орбиту Гиппарх назвал эксцентриком, а величину смещения центров (в отношении к радиусу) – эксцентритетом. Точку орбиты, в которой Солнце находится ближе всего к Земле, Гиппарх назвал перигеем, а наиболее удаленную точку – апогеем.

Гиппарх открыл, что небесная сфера, кроме суточного движения, еще очень медленно поворачивается вокруг полюса эклиптики относительно экватора (точный период 25735 лет). Это явление он назвал прецессией (предварением равноденствий). Гиппарх установил, что плоскость лунной орбиты вокруг Земли наклонена к плоскости эклиптики под углом в 5° . В результате своих изысканий он научился предсказывать лунные и солнечные затмения с точностью до одного часа. По солнечному затмению Гиппарх вычислил расстояние от Земли до Луны, равное 60 земным радиусам (погрешность измерения около 1%).

Расстояние от Земли до Солнца, по Гиппарху, равно 2 тыс. радиусов Земли (примерно в 12 раз меньше реального).

2. Какую антинаучную теорию Птолемея высмеивает М. В. Ломоносов в басне: «Кто видел простака из поваров такого, который бы вертел очаг вокруг жаркого»?

Геоцентрическую теорию, гласящую, что Солнце вращается вокруг Земли, опровергнув ее расчетами и наблюдениями Николай Ко-

перник в 1543 г. впервые доказал, что Земля вращается вокруг Солнца и что Земля вращается вокруг своей оси.

3. За какую «ересь» церковный суд приговорил к пожизненному заключению знаменитого итальянского астронома Галилео Галилея?

Галилео Галилей (1564-1642) родился в Италии в Пизе в год смерти Микеланджело Буонаротти, в год рождения Шекспира. Работая профессором в Подуанском университете, Галилей в 1609 г. изобрел зрительную трубу с увеличением в 30 раз. С подзорной трубой Галилей сделал все свои открытия в астрономии: рельеф на Луне, то, что Млечный путь – не что иное, как огромное скопление звезд, три спутника Юпитера, кольца Сатурна, в октябре 1610 г. открыты фазы Венеры, похожие на фазы Луны (что доказывало вращение Венеры вокруг Солнца, а не вокруг Земли), и тогда же пятна на Солнце.

В выступлениях Галилей доказывал гелиоцентрическую модель мира, что в 1615 г. спровоцировало церковь начать дело против ученого. 24 февраля 1616 г. Священная коллегия Римских инквизиторов сделала заключение, что учение о движении Земли «ложно и нелепо, формально еретично и противно Священному Писанию». 5 марта 1616 г. вышел декрет, который запретил учение Коперника (спустя 73 года после смерти Коперника в 1543 г.).

Галилей в начале 1623 г. опубликовал книгу «Диалог о двух главнейших системах мира – Птолемеевой и Коперниковой», где убедительно показал правоту Коперника. В августе 1632 г. была запрещена продажа «Диалога». В апреле 1633 г. 70-летнего Галилея судили, признали виновным в нарушении церковных запретов (пропаганда идей Коперника) и приговорили к пожизненному тюремному заключению. После объявления приговора он, стоя на коленях, произнес отречение от своих «заблуждений» (по легенде после этого он якобы произнес: «И все-таки она вертится»). Папа заменил тюремное заключение ссылкой в загородную виллу, а позже в его собственную виллу без права выезда.

В последние годы жизни Галилей ослеп и умер 8 января 1642 г., похоронен во Флоренции без почестей и надгробия (в год смерти Галилея родился Ньютон). И когда 85 лет спустя Лондон торжественно похоронил сэра Исаака, Флоренция перенесла прах Галилея в усыпальницу собора Санта Кроче, и он упокоился рядом с Микеланджело Буонаротти.

4. Кто из ученых доказал, что орбита Земли вокруг Солнца не круговая, а овальная?

Немецкий ученый **Иоганн Кеплер** (1571-1630) исследуя орбиту Марса и Земли, пришел к выводу, что – «путь планеты не окружность, он то вгибается внутрь, то вгибается наружу. Такая кривая называется овалом. И так, орбита планеты не окружность, а овальная фигура». В 1605 г. был сформулирован первый закон Кеплера: «Каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце». Эллипс – это пропорционально сжатая окружность. Когда мы смотрим на круглый предмет сбоку, он тоже выглядит как эллипс.

Планеты по эллиптическим орбитам движутся с большей скоростью при приближении к Солнцу и с меньшей при удалении от светила. Современная формулировка этой зависимости (вычисленной в 1602 г.), позже получившая название второго закона Кеплера (открытого раньше первого), звучит следующим образом: «Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равные площади». Заслуга Кеплера – объяснение происхождения приливов лунным притяжением.

5. За какую «ересь» был казнен в 1600 г. католической церковью итальянский ученый и философ Джордано Бруно?

Джордано Бруно (1548-1600) не был астрономом и все же оставил в истории науки огромный след, отстаивая свои взгляды. В 1584 г. Бруно в Лондоне издал на итальянском языке труд «О бесконечности, Вселенной и мирах». Бруно решительно высказался в защиту учения Коперника, что само по себе было дерзостью, но не остановился на этом. «Вселенная бесконечна», – сказал он. У неё не может быть единого центра. Коперник, как и все астрономы до него, думал, что Космос замкнут «сферой неподвижных звезд». Бруно же выдвинул головокругооборотную идею: звезды – это другие Солнца, отнесенные от нас на огромное и при этом разное расстояние. Вокруг других звезд-Солнц тоже вращаются планеты, планетные системы, подобные нашей. Звезды, как и планеты, вращаются вокруг оси – всеобщее движение, есть закон Вселенной. Миры – планеты и солнца – находятся в вечном изменении и развитии, рождаются и умирают. Меняется и поверхность Земли – за большие промежутки времени «моря превращаются в континенты, а континенты – в моря». Наконец, жизнь есть не только на Земле, но и распространена во Вселенной. Тогда эти идеи были безумно смелыми, разрушавшими всю картину мира, привычную его современникам.

В 1593 г. Бруно был выдан церковным властям и провел в тюрьме 7 лет. На следствии он держался с редким мужеством, открыто отстаивая свои взгляды. «Непосредственно я не учил тому, что противоречит христианской религии, хотя косвенным образом выступал против...» – заявить такое в глаза следователям инквизиции было событием беспрецедентным.

Смертный приговор Бруно был вынесен 8 февраля 1600 г. «Вероятно, вы с большим страхом выносите мне приговор, чем я выслушиваю его: – сказал осужденный и добавил: – Сжечь не значит опровергнуть». 17 февраля Бруно по обычаю инквизиции был заживо сожжен на костре в Риме на Площади Цветов.

6. Сколько времени необходимо Земле, чтобы переместиться по орбите на расстояние своего диаметра (12742 км) и на расстояние своей окружности (40 тыс. км)?

Около 7 мин уходит на перемещение Земли на расстояние своего диаметра и около 22 мин на перемещение на длину окружности. Орбита Земли длиннее экватора в 23 тыс. раз. За год Земля пробегает по орбите вокруг Солнца 934 млн. км.

7. В каком месяце Земля ближе всего к Солнцу?

Часто отвечают – «в июле», потому что жарко. Однако наименьшее расстояние (перигелий) до Солнца бывает ежегодно в первых числах января, когда расстояние сокращается до 147117000 км. Напротив, афелий, или самое удаленное положение от Солнца, бывает в первые числа июля, когда расстояние до Солнца увеличивается до 152083000 км (на 4966000 км по сравнению с январём дальше), или в 13 раз больше расстояния между Землей и Луной.

8. Когда Земля при движении вокруг Солнца имеет наибольшую и наименьшую скорости?

При прохождении перигелия 3 января, когда до Солнца 147 млн. км, скорость достигает максимума – 30,3 км/с, в афелии 5 июля, когда расстояние возрастает до 152 млн. км, скорость снижается до минимума, до 29,3 км/с.

9. Земля как планета движется по орбите вокруг Солнца со скоростью 30 км/с, сможете ли вы вытянутой рукой показать направление полёта нашей Земли как планеты в полуденные часы?

На широте г. Благовещенск (50° с. ш.) в полдень, став лицом к западу, вытянутая горизонтально вперед рука укажет направление движение Земли вокруг Солнца (в полночь рука на восток).

Вечером на закате, став лицом к северу и вытянув руку вперед и вниз, а утром, став лицом на юг и вытянув руку вперед и вверх, мы примерно покажем направление движения Земли по ходу околосолнечной орбиты.

10. За какое время преодолел бы расстояние от Земли до Солнца авиалайнер, постоянно летящий со скоростью 1000 км/час к светилу?

За 17 лет. Если бы у человека была рука длиной в 150 млн. км и он прикоснулся бы ею к поверхности Солнца, то боль от ожога он ощутил бы только через 167 лет, так как ощущения передаются по нервам в среднем со скоростью 28 м/с. Даже свет со скоростью в 300 тыс. км в секунду достигает Земли за 8 минут.

Если бы Земля вдруг повернула к Солнцу, сохраняя орбитальную скорость в 30 км/с, то уже через 58 суток она долетела бы до звезды. При увеличении скорости движения по орбите до 42 км/с Земля покинула бы Солнечную систему.

11. Зачастую спрашивают, долго еще Земля будет двигаться вокруг Солнца и не потерпит ли катастрофы, сойдя со своей орбиты? Иначе говоря, устойчиво ли движение Земли или вообще солнечной системы?

Впервые проблему устойчивости солнечной системы поставил еще в начале XIX в. знаменитый французский ученый Лаплас. Он же доказал эту устойчивость, но не полностью. Другой французский ученый Лагранж также приближено доказал, что вековые возмущения в эксцентриситетах и наклонностях орбит больших планет имеют колебательный характер и остаются достаточно малыми. Поэтому в настоящее время можно с уверенностью сказать, что изменения орбит больших планет в солнечной системе в течение будущих десятков тысяч лет будет достаточно малым. В частности, орбиты Земли и Луны вокруг Солнца мало отличались от современной на протяжении последней сотни тысяч лет. Фактически, нет таких сил в природе (кроме взрыва Солнца через 4-5 млрд. лет), которые могли бы сдвинуть Землю с орбиты и повлиять на наклон и скорость осевого вращения.

12. В какую фазу Луны Земля ближе к Солнцу?

В полнолуние на 9,9 тыс. км ближе, чем в новолуние, в переходные фазы на обычном орбитальном удалении. Связано это с тем, что Земля и Луна вращаются вокруг общего центра, находящегося внутри земного шара в 4878 км от его центра, поэтому в полнолуние это расстояние прибавляется к среднему расстоянию, а в новолуние отнимается от среднего.

13. За какое время Земля упала бы на Солнце, если предположить, что она вдруг остановилась на орбите, потеряв свою орбитальную скорость в 30 км/с?

Земля как движущееся тело обладает огромной энергией, и если бы вдруг Земля столкнулась с неподвижной стеной, то эта энергия превратилась бы в тепло, которое мгновенно превратит наш мир в исполинское облако раскаленных газов. Метеорит, движущийся со скоростью 4 км/с, при столкновении с препятствием взорвется с силой, равной ему по массе количеству тротила, а при скорости 30 км/с мощность взрыва будет гораздо большей. Но если бы даже Земля при внезапной остановке избежала этой участи, она упала бы на Солнце и погибла в огне.

Это падение началось бы немедленно: в первую секунду Земля приблизилась бы к Солнцу только на 3 мм. Но с каждой её секундой скорость Земли прогрессивно возрастала бы, достигнув в последнюю секунду 600 км. Процесс падения занял бы 65 дней. В случае остановки, Луна на Землю падала бы ровно 5 дней [Перельман, 1966, с. 189].

14. Если бы земная ось имела наклон к плоскости земной орбиты не в $66,5^\circ$, а в 45° , на каких широтах проходили бы тропики и полярные круги?

Тропики и полярные круги совместились бы на 45° с. и ю. ш. В день летнего солнцестояния на широте 45° в полдень Солнце было бы в зените, а в полночь на линии горизонта, не заходя за горизонт, 24 часа.

На широте Благовещенска тогда был бы полярный день (с высотой Солнца до 85° над горизонтом), и полярная ночь длились бы по нескольку недель. Климат бы стал гораздо более контрастным, от тропической жары летом до антарктических морозов зимой.

15. Встреча Нового года в России приходится на разгар зимы, а может ли быть, что встреча Нового года (1 января) будет разгаром лета и тепла в России, без реформ календаря?

Сейчас Северный полюс Мира направлен к окрестности Полярной звезды, а через 13 тыс. лет он будет смотреть на Вегу (α Лиры). Изменение положения оси вращения приводит к смещению сезонов года. Через 13 тыс. лет лето в северном полушарии будет приходиться на декабрь, январь и февраль. Ещё через 13 тыс. лет Новый год снова станет зимним праздником.

Подобное явление объясняется прецессией – движением оси вращения Земли вокруг перпендикуляра к плоскости вращения с вершиной в центре Земли, при котором ось описывает круговую коническую поверхность. Наклон оси при этом не меняется. Период прецессии составляет 26 тыс. лет.

16. Где и на сколько больше полярный день – на северном или южном полюсе?

Расстояние от Земли до Солнца минимально в январе (147 млн. км), а максимально в июле (152 млн. км), поэтому полярный день и лето в северном полушарии на 4 суток больше, чем в южном. Фактически на полюсах в течение года полгода приходится на световой день и полгода на ночь.

17. Двигаясь вокруг Солнца, Земля летит со скоростью 30 км/сек., а какой скорости достигает Земля с Солнцем при движении вокруг центра нашей Галактики?

Солнечная система движется со скоростью 250 км/с, т. е. в 8 раз быстрее, чем Земля вокруг Солнца, и делает полный облет вокруг центра Галактики за 200 млн. лет. Таким образом, Земле «всего» 23 галактических года. По одной из гипотез, при движении Солнечной системы вокруг центра Галактики, встречаются туманности, что может уменьшать солнечную инсоляцию и приводить к оледенениям.

18. В какое время суток мы находимся ближе к Солнцу в любой день года?

С 5 января по 5 июля при ежесуточном удалении от Солнца на 27 тыс. км мы будем ближе в начале новых суток, т. е. сразу после полуночи, а с 5 июля по 5 января при ежесуточном приближении к Солнцу на 27 тыс. км мы будем ближе к Солнцу в конце суток, т. е. перед полночью, поздним вечером.

Ежесуточно Земля либо приближается, либо удаляется на расстояние, равное двум диаметрам Земли, или на 27400 км. Другими словами, Земля с 5 июля по 5 января приближается к Солнцу со скоростью

авиалайнера – 1140 км/час, а с 5 января по 5 июля с такой же скоростью удаляется. Все же ежедневное изменение расстояния от Земли до Солнца на 0,018% практически не сказывается на поступлении солнечной радиации к земной поверхности и в расчет не принимается.

СРАВНЕНИЕ ЗЕМЛИ С ДРУГИМИ ПЛАНЕТАМИ И ЛУНОЙ

1. *На какие планеты Солнечной системы по основным астрономическим параметрам больше всего похожа наша Земля?*

По массе ближе всего к Земле стоит Венера, масса которой в 1,226 раз меньше земной. Стоит заметить, что масса Земли больше массы Венеры, Марса и Меркурия, вместе взятых, на 2,2% (масса Марса в 9,25 раз, Меркурия в 18,18 раз меньше земной массы).

По длине суток побратим Земли – Марс, у которого оборот вокруг оси равен 24 часа 37 минут 23 секунд, и Уран с длиной суток в 24 часа, Нептун – 22 часа. У Венеры сутки равны 243 земным суткам, при этом она вращается с востока на запад, а не с запада на восток, как Земля. Самые короткие сутки у Юпитера – 9 часов 50 минут 30 секунд и у Сатурна – 10 часов 14 минут.

Наклон оси к плоскости орбиты Земли $23^{\circ}27'$ и почти такой же наклон у Марса – $23^{\circ}59'$. Наибольший наклон (с наибольшим контрастом сезонов года) у Урана – $82^{\circ}5'$, наименьший у Венеры – 3° и у Юпитера – $3^{\circ}05'$ (отсутствие сезонов года).

2. *Какова средняя температура атмосферы на Марсе?*

Средняя температура атмосферы Марса -80°C , зимой до -130°C , в полдень на экваторе поднимается до $+15^{\circ}$ и даже до $+27^{\circ}\text{C}$, хотя ночью опускается до -90°C .

3. *Известно, что Луна и Земля получают одинаковое количество солнечной энергии на единицу площади (без учета атмосферы), можно ли сказать, какая температура господствует в центре диска полной Луны и по его окраинам?*

Если на Землю смотреть со стороны Солнца, то в центре освещенного диска (на экваторе) температура была бы около $+27^{\circ}$ – $+30^{\circ}\text{C}$, а по окраинам до $+30^{\circ}\text{C}$ (вдоль экватора), до -30° – 50°C у полюсов.

На Луне в центре освещенного диска температура около $+125^{\circ}\text{C}$, а близ края освещенного диска господствует мороз в -50°C . Еще холоднее на темной, отвернутой от Солнца стороне Луны, где мороз достигает -170°C . При лунных затмениях, когда лунный шар окунется в

земную тень, поверхность Луны, лишённая солнечного света, быстро охлаждается. Было измерено, как велико это остывание: в одном случае установлено падение температуры за время затмения от $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. почти на $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5-2 часов [Перельман, 1966, с. 105].

4. *С площадью какого географического объекта на Земле можно сравнить площадь поверхности Луны?*

Диаметр Луны 3476 км , и, следовательно, поверхность равна $4\pi R^2 = 41\text{ млн. км}^2$. Легко установить, что одна Азия ($44,2\text{ млн. км}^2$) больше поверхности Луны, а в полнолуние мы видим её половину или около 20 млн. км^2 , что существенно меньше площади Африки ($29,2\text{ млн. км}^2$), но несколько больше площади России ($17,8\text{ млн. км}^2$).

5. *Какое давление покажет барометр на Луне?*

Из-за отсутствия атмосферы барометр покажет нулевое давление. Для сравнения: давление на поверхности Венеры в 82 раза больше, чем на поверхности Земли. Чтобы представить подобное давление, необходимо опуститься на глубину 820 м в океан, где с глубиной при погружении на каждые 10 м давление повышается на 1 атмосферу.

6. *Почему солнечные затмения не происходят каждый месяц?*

Солнечные затмения происходят, когда Луна находится между Солнцем и Землей; лунные затмения могут быть только в полнолуния, казалось бы, в течение каждого месяца должно быть одно солнечное затмение, а через 14 дней после него – лунное. Однако, затмения редки: за 18 лет и 11 дней на всей Земле наблюдаются 41 солнечное затмение и 29 затмений Луны. Солнечные затмения наблюдаются не всюду, так как лунная тень захватывает сравнительно небольшую часть земной поверхности. Затмение Луны одновременно наблюдается во всех местах Земли, где Луна может быть в это время видна; поэтому в одном и том же месте чаще наблюдаются затмения Луны, нежели затмения Солнца.

Почему же затмения редки? Объясняется это тем, что орбита (путь) Луны не совпадает в точности с плоскостью орбиты Земли; между ними угол около 5° . Поэтому при каждом новолунии лунная тень близко проходит около Земли, но сравнительно редко задевает последнюю. По той же причине редки и лунные затмения: Луна в полнолуние хотя и близка от Земной тени, но чаще проходит мимо нее.

7. *Что светит ярче: Земля или Луна?*

Земля – мировое тело, подобное Марсу, Венере, Юпитеру и другим планетам. Как и все планеты, Земля светит отраженным светом Солнца. Как мы знаем, лунный свет также отраженный. Луна поглощает до 93% солнечных лучей и отражает совсем немного света (всего 7%). Значит, Луна – плохое «зеркало».

Наоборот, Земля, окруженная плотной атмосферой, отражает много света, до 45%. Диаметр Земли больше диаметра Луны в 3,6 раза. Следовательно, диск Земли с Луны будет больше диска Луны с Земли в 13 раз: площади кругов соотносятся, как вторые степени диаметров ($3,6^2 = 13$). Учитывая большую отражательную способность Земли и ее размеры, можно с уверенностью сказать, что ночи на Луне при освещении ее полной Землей (в «полноземлие») в 80-90 раз светлее, чем на Земле во время полнолуний.

8. *Можно ли сравнить скорость экзогенных процессов выветривания на Земле с процессами выветривания на других планетах Солнечной системы?*

Глобальный круговорот вещества и энергии, который академик К.К. Марков назвал «Географическим круговоротом вещества и энергии», а В.М. Сеницын «климатическим ...», является экзогенным фактором преобразования Земли. Мощность его настолько велика, что созданные эндогенным фактором грандиозные горные системы разрушаются очень быстро.

При сохранении современного высокого темпа денудации (если полностью отсутствуют тектонические движения) все горы суши могут быть разрушены, а их обломочный материал снесен в океанические бассейны за какие-нибудь 10-20 млн. лет. Это приблизительно в **1000 раз интенсивнее** процесса денудации на Луне, Меркурии, Венере, у которых рельеф крайне консервативен. При этом следует иметь в виду, что действие разрушительных процессов там объясняется не столько собственно экзогенными процессами, которые крайне слабы, сколько метеоритной бомбардировкой. На самом деле, экзогенные разрушительные процессы на Луне, Меркурии, Венере не в 1 тысячу, а во многие десятки тысяч раз слабее земных. Интенсивность экзогенных процессов на Земле объясняется *наличием жидкой воды* в огромных количествах, в отличие от «сухих» Луны, Венеры, Меркурия и Марса.

9. *На какой планете солнечной системы максимально проявляется парниковый эффект?*

На *Венере* средняя температура у поверхности достигает почти +460-+500 °С, однако если бы на Венере параметры атмосферы были аналогичны земным по составу, давлению, то температура должна была бы быть всего на 50 °С выше, чем на Земле (то есть была бы на уровне +65 °С), или на 400° ниже реальной). На Земле без атмосферы было бы -20 °С, а за счёт парникового эффекта атмосферы на 35 °С выше и составила +15°С.

Действительно, столь колоссальный парниковый эффект на Венере обусловлен тем, что атмосфера состоит из парникового СО₂ на 97% (N₂ – 2%, О₂ – 0,1%, Н₂О – 0,05%) и при этом по массе больше земной в 84 раза. Из-за плотной атмосферы на поверхности Венеры Солнца увидеть невозможно, так как сплошная облачность (из капелек серной кислоты с примесью воды) пропускает лишь 22% солнечной радиации, а 78% отражается в космос, из-за чего Венера очень яркая «звезда» на ночном небосводе.

10. Во сколько раз Земля примерно тяжелее Луны и Марса?

В **83 раза** тяжелее Луны и в **10 раз** тяжелее Марса, что сказывается на возможностях удержания плотной атмосферы, защищающей Землю от космического холода и жары.

В то же время Земля примерно в **318 раз** легче Юпитера и в **333434 раза** легче Солнца. Столь большая масса Солнца обусловила силу тяжести в 28 раз большую, чем на Земле. Если предположить, что на Солнце можно было бы высадиться (что, конечно, невозможно из-за температуры в 6000°), то космонавт весом в 70 кг ощутил бы, что на него взгрохотали почти 2 т груза, что попросту раздавило бы человека «вмятку».

КОСМИЧЕСКИЕ МАСШТАБЫ И РАССТОЯНИЯ

1. Если все время существования Вселенной, от «большого взрыва» до наших дней (около 15-16 млрд. лет), принять за один год, в котором 1 секунда приравнивается к 500 годам (1 час – 1,8 млн. лет, а 1 сутки – 43,2 млн. лет), начало «большого взрыва» – рождение Вселенной будет 1 января в 0.00. Когда на этом календаре будет день рождения Солнечной системы, Земли, древних людей, цивилизации?

На этом календаре 10 января образуются галактики, Солнечная система образуется 9 сентября, Земля сформируется 14 сентября (около 4,6 млрд. лет назад), возникновение жизни на Земле будет датировать-

ся 25 сентября. Появление трилобитов будет отмечено 18 декабря, выход растений на сушу и появление насекомых произойдет 21 декабря, расцвет и вымирание динозавров – 27-28 декабря, появление первых людей – 31 декабря в 22.30. Первые цивилизации появятся 31 декабря в 23 часа 59 минут 50 секунд, крещение Руси (988 г.) произойдет за 2 секунды до конца года.

2. *Солнце в 1,3 млн. раз больше Земли по объему и в 109 раз больше по диаметру, а существуют ли звезды, примерно во столько же раз превосходящие по размерам само Солнце?*

Из числа сверх гигантских звезд, известных науке, отметим главную звезду созвездия Ориона – Бетельгейзе. Диаметр Бетельгейзе больше диаметра Солнца в 300 раз, и, следовательно, гигант Бетельгейзе больше Солнца по объему в 27 млн. раз и больше Земли в 35,1 трлн. раз. Диаметр Бетельгейзе так велик, что даже орбита Земли с радиусом 150 млн. км оказалась бы внутри сверхгиганта.

Еще больше Бетельгейзе – Антарес, главная звезда созвездия Скорпиона (в 90 млн. раз больше Солнца по объему). Отличаясь от Солнца громадными размерами, звезды-гиганты, однако, превосходят незначительно Солнце по массе, т. к. плотность их ничтожна (в 30-40 раз меньше, чем плотность воздуха в комнате).

3. *Какую единицу измерения «придумали» астрономы на основе расстояния Земля-Солнце?*

Среднее расстояние между Землей и Солнцем названо астрономической единицей. На международном астрономическом съезде в Гамбурге в 1964 г. в качестве астрономической единицы принято значение 149600000 км, оно рекомендовано как стандарт для всех астрономических, астрономо-геодезических и прочих вычислений. Самая удаленная планета Солнечной системы – Плутон – отстоит от Солнца приблизительно на 40 астрономических единиц. Но это расстояние ничтожно мало по сравнению с расстоянием хотя бы до ближайшей звезды, которое составляет 271000 астрономических единиц, что в 6800 раз больше расстояния до Плутона.

4. *Каковы размеры нашего астрономического дома – Солнечной системы, где размещены её границы?*

К сожалению, на этот вопрос однозначный ответ дать трудно. Кажалось бы, наиболее правильно границей считать орбиту Плутона (ранее считавшегося планетой). Среднее расстояние от Солнца до него

примерно 40 астрономических единиц (напомним, что 1 астрономическая единица равна среднему расстоянию от Земли до Солнца и равно 149,5 млн. км). Однако вокруг Солнца обращается множество комет по вытянутым эллиптическим орбитам и по расчетам, самые дальние точки их орбит – афелии – лежат на расстояниях около 150000 астрономических единиц от нашего светила. Это существенно раздвигает границы Солнечной системы, но тоже не дает ее предела.

Американский математик Георг Хилл рассчитал максимальное расстояние, на котором может двигаться тело малой массы, оставаясь еще спутником Солнца. Так, космический корабль, выброшенный за пределы всех планетных орбит, будет обращаться вокруг Солнца до тех пор, пока его расстояние от светила не превысит 230000 астрономических единиц. Это и есть радиус «сферы Хилла» для Солнца. Кстати, расстояние до ближайшей звезды – альфы Центавра – порядка 280000 астрономических единиц. Таким образом, Солнечная система это не только сфера с радиусом, где вращаются планеты, а фактически колоссальная сфера с радиусом почти в 5750 раз больше радиуса Солнца-Плутон.

Космический аппарат «Вояджер» в феврале 2006 г. находился от Солнца всего в 100 астрономических единицах, на это у него ушло 29 лет. При такой скорости «Вояджер-1» достигнет границы нашей звездной системы за время порядка 40 тыс. лет.

5. *В какое время года Земля имеет более высокую абсолютную скорость при движении вместе с Солнцем и Галактикой во Вселенной?*

В настоящее время вектор движения и абсолютная скорость Солнца и планет солнечной системы достигает 400 км/с (скорость движения Галактики с Солнцем во Вселенной). Для сравнения: орбитальная скорость движения Земли вокруг Солнца (30 км/с) и Солнца вокруг центра Галактики (250 км/с). Вся эта вращающаяся система (Земля вокруг оси, Земля вокруг Солнца, Солнечная система вокруг центра Галактики) лежит практически в одной плоскости земной орбиты.

Зимой орбитальная скорость Земли (30 км/с) прибавляется к абсолютной скорости Солнца (векторы Земли и Галактики совпадают), а летом вычитается из неё (векторы Земли и Галактики противоположно направлены). Следовательно, абсолютные скорости Земли летом и зимой отличаются на 60 км/с (измерения были проведены в декабре 1980 г. и в июле 1981 г.).

Вообще скорость Галактики по отношению к другим звездным системам равна примерно 600 км/с, но Солнечная система в настоящее время летит, огибая ядро Галактики со скоростью 250 км/с против вектора движения Галактики, а примерно через 100 млн. лет эта скорость будет совпадать с вектором движения Галактики, и абсолютная скорость Солнечной системы достигнет более 800 км/с.

Пока не выявлено влияние изменений вектора и скорости движения Земли в составе вращающейся системы Галактики на процессы, происходящие на Земле.

6. Если предположить, что существует машина времени, где оказалась бы путешественник (с географически-пространственной точки зрения), отправившийся из Москвы в Москву на 1 секунду, 1 минуту в прошлое?

Для ответа надо учесть, что Земля как планета вращается вокруг оси (скорость от 0 до 500 м/с), вокруг Солнца (30 км/с), вокруг центра Галактики (250 км/с) и с Галактикой в космосе (около 600 км/с). Путешественник во времени, попав туда, где был 1 с назад, может оказаться в 400-600 км, либо в космосе, либо в недрах Земли, а попав на 1 минуту в прошлое окажется в 25-30 тыс. км (около 2-х диаметров Земли) от планеты. Путешествие во времени на 1 год назад означало перемещение в пространстве на расстояние не менее 15 млрд. км (в 10 раз больше расстояния от Земли до Солнца).

Таким образом, в гипотетическом путешествии во времени необходимо учитывать не только координаты времени, но и пространства.

7. Видимый диск Солнца или Луны практически равны и занимают 1/200000 часть небосвода. Сколько звезд «скрывается» за диском Луны или Солнца?

Приблизительно можно считать, что диск Луны (или Солнца) закрывает в среднем около 10000 звезд, регистрируемых современной аппаратурой (до вывода на орбиту телескопа «Хаббл»).

В действительности, звезд за диском Луны или Солнца гораздо больше. Астрономы насчитывают более 3 млрд. звезд, и количество их постоянно растет.

Телескоп «Хаббл» увеличил число видимых галактик до 125 млрд., а ведь только в нашей галактике около 100 млрд. звезд.

По современным оценкам в радиусе 13 млрд. световых лет от Земли в объеме порядка 10^{70} км³ находится около 1 трлн. галактик, в каждой из которых в среднем насчитывается порядка 100 млрд. звезд.

8. При масштабе 1:12756000000 (в 1 см – 127560 км) диаметр Земли составит 1 мм, расстояние до Солнца – 12 м, а диаметр Солнца 11,2 см. Каково будет расстояние до ближайшей ей звезды в этом же масштабе?

3343 км, или 4,24 световых года. Столь огромные расстояния до звезд избавляют Землю и Солнечную систему от возможности грандиозных звездных столкновений.

Приняв размер Земли за шарик диаметром в 1 см, диаметр Солнца был бы 109,1 см, а расстояние до него было бы 115 м в январе и 119 м в июле. Диаметр Луны был бы 3 мм с удалением от Земли на 30 см.

Расстояние до Веги из созвездия Лиры $2,5 \times 10^{17}$ м или 26,5 световых лет, – ничтожный размер по космическим масштабам, но это расстояние в 1,5 млн. раз больше расстояния от Земли до Солнца. И если до Солнца лететь со скоростью самолета (1000 км/ч) 17 лет, то до Веги самолетным ходом ушло бы 25,5 млн. лет. От Солнца до центра Галактики 3×10^{20} м, или в 2 млрд. раз больше, чем от Солнца до Земли, и на самолете понадобилось бы 34 млрд. лет пути.

УНИКАЛЬНОСТЬ ЗЕМЛИ КАК ПЛАНЕТЫ, ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ЖИЗНИ

1. *Какие планетарно-астрономические факторы позволили сформировать на Земле уникальный по благоприятности климат, в котором зародилась жизнь и появился человек?*

Необходимо выделить не менее десятка факторов, позволивших на Земле породить жизнь и человека. К факторам уникальности Земли как планеты и её астрономических параметров следует отнести следующие: масса планеты, тектоническая активность, наличие магнитосферы, круговой эксцентриситет, положение в обитаемой зоне Солнца, не слишком большой и не малый размер Солнца, стабильность Солнца, наличие в Солнечной системе газовых гигантов (ловцов комет и астероидов), наличие у Земли Луны, умеренный наклон оси Земли, оптимальная скорость осевого вращения Земли, удаленность от центра Галактики и ряд других астрономических параметров.

Таким образом, Земля сочетает в себе несколько десятков уникальных параметров, которые позволили на Земле породить жизнь и человека. Необходимо заметить, что по сочетанию всех вышеназванных факторов Земля уникальная планета, возможно, единственная во Вселенной.

2. В чем заключается уникальность массы нашей планеты?

Масса Земли *не слишком большая и не слишком малая*. Планеты со слишком большими массами (как Юпитер или Сатурн) целиком удерживают свои первичные атмосферы, состоящие из водорода, аммиака, метана. А эти атмосферы не только труднопроницаемы для излучения звезды, но и вообще не допускают возникновения даже простейших форм жизни. Планеты же слишком легкие (как Меркурий или Луна), хотя и быстро утрачивают эту первичную, еще неблагоприятную для жизни атмосферу, не могут удерживать ту вторичную атмосферу, без которой ни возникновение, ни сохранение жизни невозможно.

Масса Земли позволяет поддерживать недра планеты в расплавленном состоянии, а следовательно, и тектоническую активность. **Внутренняя теплота** Земли позволяет за счет вулканизма и сейсмических движений постоянно формировать сушу и газовую и водную оболочки. Так, при полном прекращении горообразовательных процессов эрозия через 20 млн. лет полностью уничтожила бы сушу на Земле, превратив Землю в планету «Океан», без сухопутных форм жизни.

Легкая планета относительно быстро остывает, и прекращаются тектонические движения. **Тектоническая активность** приводит к горообразованию и перемещению материков, что делает климат и природные условия на Земле чрезвычайно разнообразными (а это делает жизнь более разнообразной). **Горообразование** позволяет на протяжении миллиардов лет существовать суше, которая в условиях интенсивной эрозии исчезла бы за какие-нибудь 15-20 млн. лет, и планета была бы сплошь покрытой океаническими водами.

Планеты с малой массой являются плохими кандидатами на роль места развития жизни в силу двух причин. Первая – их сравнительно малая гравитация затрудняет длительное удержание достаточно плотной атмосферы. Вторая космическая скорость на таких планетах сравнительно мала, и составляющие атмосферу такой планеты молекулы гораздо легче и чаще будут достигать второй космической скорости и будут «сдуты» в космос солнечным ветром, будучи возбуждаемы его воздействием. Планеты без плотной атмосферы имеют недостаток исходного материала для первоначальной биохимии и имеют слабую изоляцию и плохую теплопередачу по ширине своей поверхности (например Марс, с его тонкой атмосферой, все равно будет холоднее, чем Земля, даже если был бы на одинаковом с Землей расстоянии от

Солнца), и слабо защищают против ударов метеоритов и высокочастотного солнечного или космического радиоизлучения.

Причина вторая: меньшие планеты имеют меньший диаметр и, таким образом, большее соотношение площади поверхности к массе, чем их более крупные собратья. Такие тела имеют тенденцию быстрее терять энергию недр, накопленную при их формировании, и это приводит к прекращению вулканической, сейсмической и тектонической активности, которая снабжает поверхность планеты поддерживающими жизнь материалами и выбрасывает в атмосферу играющий роль в регуляции температуры диоксид углерода.

Тектоника плит играет важную роль, по крайней мере, на Земле: не только производится переработка различных химических веществ и минералов, что способствует разнообразию жизни на Земле через процессы формирования континентов и воздействие на климат, но и образуются участки конвекции, необходимые для образования земного магнитного поля, играющего важнейшую роль в поддержании жизни на Земле.

«Маломассивная планета» – во многом понятие относительное. Земля обоснованно считается маломассивной, когда сравнивается с газовыми планетами-гигантами Солнечной системы, но является крупнейшей по диаметру, массе и плотности из всех земледобных планет в Солнечной системе.

Она достаточно велика, чтобы удерживать своей гравитацией достаточно плотную атмосферу и достаточно большая, чтобы её недра длительное время оставались горячими и подвижными, приводя в движение геологические процессы на поверхности (один из компонентов, поддерживающих это тепло, это также и распад радиоактивных элементов, входящих в состав ядра Земли). Марс же, напротив, является почти (или возможно, полностью) геологически мертвым, поскольку сходные с земными процессы в его недрах из-за их остывания давно затухли, и он потерял большую часть своей атмосферы.

Таким образом, можно заключить, что нижний предел массы возможно обитаемой планеты лежит где-то между Марсом и Землей или Венерой. 0,3 земной массы предлагается считать неким пределом-минимумом для обитаемой планеты. Так или иначе, в 2008 г. учёные из Гарвардско-Смитсоновского центра астрофизики предположили, что этот предел-минимум может быть больше. Земля, фактически, может являться объектом, находящимся в условиях этого нижнего предела для обитаемости, – *будь она лишь немного меньше*, тектоника плит была бы невозможна. Венера, которая имеет 85% от Земной массы,

практически не демонстрирует тектонической активности. Напротив, суперземли – земледоподобные планеты с массами, большими чем у Земли, – могли бы иметь больший уровень тектоники плит и являться более приемлемым для жизни местом.

В конечном счете, большие планеты имеют большее железосодержащее ядро. Это позволяет существовать стабильному магнитному полю, защищающему поверхность планеты от солнечного ветра и космической радиации, которые иначе имеют тенденцию пронизывать и постепенно «сдувать» атмосферу планеты и бомбардировать её поверхность потоками высокоэнергичных заряженных частиц. Масса – не единственный фактор, важный для стабильного существования магнитного поля. В равной степени планета может вращаться достаточно быстро для поддержания динамо-эффекта в ядре – это существенная составляющая процесса.

3. Можно ли считать удачным астрономическим параметром расстояние от Земли до Солнца?

Безусловно, расстояние от Земли до Солнца – удачный параметр, поскольку Земля находится в «*обитаемой зоне*» или «сфере жизни». Данная сфера весьма невелика и ограничена расстоянием в 150 млн. км от светила, шириной всего в 10 млн. км, в которой и вращается Земля.

Будь Земля на 8 млн. км (*на 5%*) ближе к Солнцу, процесс конденсации водяных паров из атмосферы не мог бы произойти, планета была бы окружена горячей, плотной атмосферой с температурой более +100 °С. Похожие условия на Венере, которая на 42 млн. км ближе к Солнцу и где температура атмосферы +480 °С.

Будь Земля дальше от Солнца всего на 2 млн. км (*на 1,5%*) и далее, то она остыла бы и покрылась льдами, после чего Земля стала бы ледяной планетой с температурой около -90 °С (на Марсе средняя температура -53 °С).

Обитаемая зона, или *зона обитаемости* (habitable zone) – в астрономии условная область в космосе, определённая из расчёта, что условия на поверхности находящихся в ней планет будут близки к условиям на Земле. Соответственно, такие планеты и луны будут благоприятны для возникновения жизни, похожей на земную.

Границы обитаемой зоны установлены, исходя из требования наличия на находящихся в ней планетах *воды в жидком состоянии*, поскольку она является необходимым растворителем во многих биохимических реакциях.

За внешней границей обитаемой зоны планета не получает достаточно солнечной радиации, чтобы компенсировать потери на излучение, и её температура опустится ниже точки замерзания воды. Планета, расположенная ближе к светилу, чем внутренняя граница обитаемой зоны, будет чрезмерно нагреваться его излучением, в результате чего вода испарится.

Существуют различные оценки того, где простирается обитаемая зона в Солнечной системе. В большинстве оценок внутренняя граница обитаемой зоны вокруг Солнца заканчивается в 7-8 млн. км от Земли в сторону Солнца или в 5% астрономической единицы, внешняя граница находится всего в 2-3 млн. км от орбиты Земли в сторону орбиты Марса или всего в 1-2% астрономической единицы. Другими словами, будь Земля всего на 5% ближе или на 1-2% дальше от Солнца, то океаны не сконденсировались, и была бы невыносимая жара, или планета подверглась глобальному оледенению.

О том, что Земля относительно недалеко находится от «холодного» края обитаемой зоны, свидетельствуют периодически происходящие оледенения приполярных районов планеты. Даже тот факт, что на Земле регулярно наступают *ледниковые периоды*, благоприятен (а согласно теории Миланковича, оледенения являются следствием одновременного изменения прецессии, наклона земной оси и эксцентриситета орбиты). Возможно, теплый ровный климат не способствовал эволюции млекопитающих, и в том числе человека.

4. Можно ли назвать орбиту Земли вокруг Солнца и её эксцентриситет уникальным?

У Земли *эксцентриситет* (степень сжатия) планетной орбиты близок к круговой. При орбите в виде эллипса Земля опасно приближалась бы к Солнцу и надолго попадала в очень холодные условия вдали от Солнца.

Эксцентриситет орбиты Земли *очень близок к круговой* и плавно меняется за период около 100 тыс. лет. Значение эксцентриситета Земли колеблется около 0,028. Сейчас показатель ниже среднего и продолжает уменьшаться. Через 25 тыс. лет орбита Земли станет почти круговой. Максимальный же эксцентриситет, которого достигает орбита Земли, равен 0,0658, он почти в 4 раза больше нынешнего и наступит он через 600 тыс. лет.

Большинство обнаруженных в последнее время планет имеют сильно эксцентричные орбиты, либо проходят слишком близко к звезде, что резко уменьшает число потенциально пригодных для жизни

планет во Вселенной, а практически круговой эксцентриситет Земли воспринимается как уникальный.

Эксцентриситет планеты может стать препятствием для зарождения жизни. Так, телескоп Хаббл обнаружил землеподобную планету «Йо-Йо», у которой расстояние до своей звезды за примерно 2 земных года меняется от 300 до 40 млн. км, при этом зима, длящаяся большую часть года с температурой до $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$, сменяется в разгар лета вблизи звезды, температурой до $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Очевидно, что для биосферы такие контрасты были бы чересчур экстремальными.

Как и с другими параметрами, в данном случае стабильность – решающее соображение в определении влияния орбитальных и вращательных характеристик на обитаемость той или иной планеты. Орбитальный эксцентриситет определяет разницу между перигелием и афелием планеты по отношению к средним точкам ее орбиты. Большой эксцентриситет порождает большие колебания температуры на поверхности планеты. Даже имея возможность адаптироваться, живые организмы могут лишь останавливаться в своем развитии на формах, выдерживающих это, особенно если температурные колебания все время пересекают поочередно точку заморзания и точку кипения главного для данного мира биогенного растворителя (например, вода на Земле). Если бы, например, земные океаны то и дело испытывали на себе поочередно температуры точки кипения и заморзания, то трудно себе представить развитие жизни на Земле, каким мы его привыкли представлять, тем более, что большая часть совокупности живых организмов на Земле очень чувствительна к высоким температурам. На деле же земная орбита почти круговая, с эксцентриситетом менее чем 0,02. Другие планеты Солнечной системы (исключение составляет Меркурий) имеют эксцентриситет в таких же терпимых параметрах.

Собранная информация об эксцентриситетах орбит экзопланет была сюрпризом для ученых: 90% их имела эксцентриситет больший, чем известный в пределах нашей Солнечной системы, он составлял в среднем 0,25.

5. Можно ли считать уникальным параметром планеты наклон оси вращения Земли?

Наклон оси к плоскости орбиты в $23,5^{\circ}$ обеспечивает смену времен года. Будь наклон оси вращения около $0-5^{\circ}$ (у Венеры и Юпитера, например 3°), смены времен года не было бы, а значит мест, пригодных для жизни, стало бы меньше в десятки раз.

При увеличении наклона оси до 70-90° (у Урана 82°) лето с отвесными лучами над полюсами по несколько месяцев нещадно разогревало бы поверхность обращенного к Солнцу полушария, а полярной зимой поверхность за несколько месяцев обледеневала, что сделало бы климат необычно контрастным и неблагоприятным.

Движение планет вокруг своей оси также должно отвечать определенным требованиям, дабы жизнь могла развиваться. Первое допущение заключается в том, что на планете должно быть достаточно мягкое чередование сезонов и сезонных температур.

Если наклон оси вращения планеты мал или отсутствует (или ко-со направлен) относительно обычной линии, перпендикулярной плоскости эклиптики, времен года не будет и главный стимул к развитию биосферы исчезнет. Планета также будет холоднее, чем она была бы при существенном наклоне оси: когда наибольшая интенсивность излучения бывает лишь у экватора и в низких широтах, и теплая погода не приходит в приполярные, и внетропическая зона, и весь климат планеты находится во власти холодных полярных воздушных масс.

Если планета сильно наклонена, смена сезонов будет экстремально резкой, – для биосферы такой планеты будет трудной задачей выдерживать такой климат и сохранять постоянство в своем развитии. Хотя в течение Четвертичного периода самый большой наклон земной оси совпадает с периодами наименьшего оледенения, наибольших температур и меньших сезонных колебаний ученые до сих пор не знают, могла ли продолжиться эта тенденция с возрастанием наклона земной оси. Точный эффект от этих изменений может показать только компьютерное моделирование, и исследования показывают, что даже экстремальные колебания в 85 градусов совершенно не уничтожают жизнь «при условии, если это не происходит на континентальной поверхности, где могут возникать довольно высокие температуры». Не только небольшой наклон оси, но и эти колебания с течением времени могут быть приняты во внимание.

Наклон оси Земли варьировал между 21,5 и 24,5 градусов в течение 41 тыс. лет. Большие или более быстрые изменения способны оказать влияние на климат, сделав его более суровым, а колебания температур – более резкими.

6. Можно ли считать уникальным параметром Земли скорость осевого или суточного вращения?

Удачна у Земли и *скорость осевого вращения* (23 часа 56 минут). При более высоких скоростях вращения, например при 4-часовых сут-

ках, на экваторе сила тяжести была бы равна нулю, и Земля стала бы терять атмосферу.

При меньшей скорости вращения (как у Венеры 243 земных суток на один оборот вокруг оси, у Меркурия – 59, у Луны – 28) за очень длинный день поверхность дневного полушария раскалялась бы до +170 °С, а ночью (каждая обычная ночь была бы как полярная) остывала бы до -170 °С, что создавало бы опять же очень контрастный и крайне неблагоприятный для жизни климат. Лишь немногие формы жизни смогли бы перенести и жару длинного дня, и холод длинной ночи. А без вращения планеты одна ее сторона постоянно была бы погружена во тьму. На другой стороне воцарился бы вечный день. Вся вода на такой планете выпала бы в виде твердых осадков на темную сторону планеты, и планета оказалась бы безводной. Атмосфера при таких условиях исчезла бы.

7. Можно ли считать силу магнитного поля Земли уникальным планетарным параметром?

Магнитное поле Земли в 600 раз сильнее марсианского и почти в 2000 раз сильнее венерианского, на Меркурии, Луне оно практически отсутствует. Без него жизнь в современных формах невозможна, поскольку магнитное поле отклоняет поток солнечного радиоактивного излучения за пределы атмосферы (поле возникло с появлением жидкого внешнего ядра в недрах планеты и его вращения внутри Земли).

8. Какая планета Солнечной системы, вероятно, является главным защитником Земли от астероидов и комет?

Наличие в Солнечной системе **крупных планет** типа Юпитера и Сатурна, которые своей гравитацией берут «на себя» большую часть комет и астероидов. Без их гравитации на Землю крупные астероиды падали бы гораздо чаще с интервалом до 10 тыс. лет, каждый раз уничтожая значительное количество видов, и возможно, что частая космическая бомбардировка уничтожила бы предков человечества.

«**Хорошие Юпитеры**» – это газовые гиганты, подобные Юпитеру в нашей солнечной системе, чей путь по орбитам вокруг их звезд пролегает достаточно далеко от обитаемой зоны, чтобы не создавать там гравитационных возмущений, но достаточно близко, чтобы защищать землеподобные планеты двумя важными способами.

Во-первых, они помогают стабилизировать орбиту, а значит, и климат на внутренних планетах.

Во-вторых, они поддерживают внутреннюю часть солнечной системы относительно свободной от комет и астероидов, могущих стать причиной столкновений с обитаемыми планетами, приводящих к катастрофическим последствиям. Орбита Юпитера вокруг Солнца имеет приблизительно в пять раз больший радиус, нежели радиус орбиты Земли или расстояние от Земли до Солнца. Приблизительно на таком расстоянии мы ожидаем увидеть «хороший Юпитер» где-то в другом месте. «Ответственная роль» Юпитера была наглядно продемонстрирована в 1994 г., когда комета «Шумейкер-Лейви-9» столкнулась с гигантом; если бы гравитация Юпитера не захватила комету, она могла проникнуть в область планет земной группы.

В ранней истории солнечной системы Юпитер играл несколько другую роль: он повышал эксцентриситет орбит многих объектов в поясе астероидов и направлял их на пересечение земной орбиты и таким образом способствовал «доставке» на планеты многих важных легких элементов. В начале Земля имела половину от нынешней массы, однако она набирала массу, в немалой степени за счет столкновения с разными космическими объектами. Так, ледяные тела из областей Юпитера – Сатурна и малые тела из первичного пояса астероидов доставляли воду к Земле при обязательном действии гравитации Юпитера и в меньшей степени из окрестностей Сатурна.

Таким образом, в то время как газовые гиганты ныне выступают как своеобразные защитники, ранее они выступали как поставщики важных для жизни материалов. Следовательно, юпитероподобные тела, чьи орбиты слишком близки к обитаемой зоне, но не в ней, или имеют сильно эллиптическую орбиту, пересекающую обитаемую зону, делают очень затруднительным возможное появление землеподобных планет в таких системах.

Наглядно свое защитное значение Юпитер продемонстрировал в 1994 г., когда он принял удар на себя от крупной кометы.

Комета была открыта 24 марта 1993 г. в обсерватории Маунт Паломар супругами Юджином и Каролиной Шумейкерами и Дэвидом Леви. Она уже в момент открытия представляла собой цепочку фрагментов. Расчёты показали, что до своего открытия, 7 июля 1992 г., комета прошла в 15 тыс. км от облачного покрова Юпитера и приливные силы раздробили её на 21 отдельный фрагмент, размерами до 2 км в поперечнике, растянувшиеся цепочкой на 200 тыс. км (первоначальный размер кометы был, вероятно, более 9 км в диаметре).

При очередном сближении с планетой в июле 1994 г. все фрагменты кометы врезались в атмосферу Юпитера со скоростью 64 км/с,

вызвав мощные возмущения облачного покрова (наблюдалось 21 столкновение, так как некоторые фрагменты до падения распались). Падение фрагментов происходило с 16 по 22 июля. Падение кометы было предсказано и наблюдалось как с Земли, так и из космоса. Точки падения фрагментов находились в южном полушарии Юпитера, на противоположном по отношению к Земле полушарии, поэтому сами моменты падения визуально наблюдались только аппаратом «Галилео», находившемся на расстоянии 1,6 а. е. от Юпитера. Однако возмущения в атмосфере Юпитера, возникшие после падения, наблюдались с Земли после поворота Юпитера вокруг своей оси.

Первый фрагмент А вошёл в атмосферу Юпитера 16 июля. При этом возникла вспышка с температурой 24000 К, облако газов поднялось на высоту до 3 тыс. км, в результате оно стало наблюдаемым с Земли.

Наиболее крупный фрагмент кометы столкнулся с атмосферой 18 июля. В результате через несколько часов в атмосфере возникло тёмное пятно диаметром 12000 км (близко к диаметру Земли), оцененное энерговыделение составляло 6 млн. мегатонн в тротиловом эквиваленте (в 750 раз больше всего ядерного потенциала, накопленного на Земле). Энергия, которая выделилась при столкновении самых крупных фрагментов кометы с Юпитером была в 10000 раз больше, чем энергия, которая выделяется при взрыве 100-мегатонной водородной бомбы!

Еще одно столкновение Юпитера с небесным телом произошло в июле 2009 г. Оно привело к образованию чёрного пятна в атмосфере планеты, по размеру сравнимого с Тихим океаном. Это второй случай, когда стало возможным наблюдать последствия столкновения небесного тела с Юпитером.

Таким образом, если бы не Юпитер именно с такой массой и орбитой вращения и именно на таком расстоянии от Земли, Земля подвергалась бы бомбардировкам астероидов и комет в 1000 раз чаще, чем в реальности.

9. Имеет ли значение для зарождения жизни положение Солнечной системы в пределах Галактики?

Удачно положение Солнечной системы *на окраинах Галактики*, где нет вероятности столкновений с другими звездами.

В ядре Галактики, где сосредоточено основное количество звезд, очень велика плотность звездного излучения, что не позволит сформироваться земным формам жизни, а в звездных рукавах велика вероят-

ность вспышек сверхновых звезд, что сопровождается выделением огромного количества энергии и излучения, смертельного для жизни.

Благоприятен и тот факт, что на пути следования Солнечной системы отсутствуют туманности и пылевые облака. Земля, отрезанная от Солнца газопылевым облаком, уже через несколько недель могла бы остыть до температуры окружающего космоса, т.е. до -271°C .

10. Как на судьбе Земли могло бы отразиться увеличение или уменьшение массы Солнца?

Звезды существенно отличаются по массе и по продолжительности жизни. Чем меньше масса – тем дольше живет звезда. Если масса протозвезды очень мала, менее 8% солнечной, то у неё в процессе гравитационного сжатия так никогда и не достигается температура центральной зоны, достаточная для начала термоядерной реакции. Такая протозвезда никогда не вспыхнет звездой.

Звезды с массой, равной солнечной, живут около 10 млрд. лет. В 10 раз более массивная звезда, оказывается, «сгорит» «всего лишь» за какую-нибудь сотню миллионов лет. Таким образом, если бы Солнце было тяжелее своего реального веса, это могло плачевно закончиться для Земли, за счет слишком ранней смерти светила. Только долгая и стабильная жизнь Солнца позволила жизни на Земле эволюционировать до современных форм, и в том числе и до появления человека.

11. Назовите параметры уникальности Солнца, без которых возникновение и поддержание жизни на Земле было бы маловероятным или даже невозможным?

Относительно *небольшая масса звезды* – Солнца (не очень большая и не очень маленькая, ведь чем больше звезда, тем быстрее она «перегорит» и взорвется, убив жизнь в начале эволюции), ее плотность и устойчивость системы тяготения, *постоянство режима* (без усиленных и ослаблений).

Уникальна масса Солнца, позволяющая ему существовать очень долго. Солнце светит уже около 5 млрд. лет, и примерно столько же оно еще просуществует до полного «выгорания». Если бы Солнце было в 2-3- раза тяжелее, то просуществовало бы тогда всего около 1 млрд. лет (примерно столько «проживет» вдвое более тяжелая Вега), а при массе в 10 раз меньшей, чем реальная масса, термоядерные реакции были бы невозможны, и газовый шар был бы больше похож на Юпитер или Сатурн. Таким образом, масса Солнца уникальна и позво-

ляет звезде существовать более 10 млрд. лет, чего достаточно для эволюции жизни на Земле.

Солнце *не порождает пылевого кольца* и, соответственно, роя комет и астероидов, осыпавших бы Землю смертоносным градом. Так, двойная звезда Мира в созвездии Кита на расстоянии 417 световых лет, вероятно, не дала бы спокойной жизни своим спутникам-планетам. В 2007 г. астрономы обнаружили у звезды исполинский хвост из пыли и газа – наподобие тех, что простираются за подлетевшими к Солнцу кометами. Звезда теряет массу, эквивалентную массе Земли, каждые 10 лет (по Марсу в год). Это значит, что материи, сброшенной ею за последние 30 тыс. лет, достаточно для образования 3 тысяч планет размером с Землю или 9 планет размером с Юпитер.

Даже то, что Солнце принадлежит к *галактике позднего типа*, тоже имеет значение, поскольку в ней уже есть необходимые для возникновения планет и жизни тяжелые элементы – «пепел» ранее существовавших крупных звезд.

Благо, что Солнце – *постоянная звезда*, у которой светимость изменяется не более, чем на 0,1% за десятилетия (хотя и этого достаточно для климатических катаклизмов). На поверхности Солнца фиксируются вспышки, эквивалентные по мощности одновременному взрыву 30 тыс. мегатонных водородных бомб, но на Земле это проявляется всего лишь в виде магнитных бурь.

Энергия большой солнечной вспышки достигает 10^{32} эрг, что приблизительно в 100 раз превышает тепловую энергию, которую можно было бы получить при сжигании всех разведанных на Земле запасов нефти и угля. Эта гигантская энергия выделяется на Солнце за несколько минут и соответствует средней за этот период мощности. Однако мощность вспышки не превышает сотых долей процента от мощности полного излучения Солнца. Поэтому при вспышке не происходит заметного увеличения светимости Солнца. Лишь самые большие вспышки на Солнце можно заметить в белом свете.

Если Солнце выдаст лишних 5-10% энергии или недодаст их, то вся вода либо выкипит, либо замерзнет, наступит вечный ледниковый период сразу для всей планеты.

Солнечные вспышки бледнеют в сравнении с теми вспышками, которые испытывают так называемые эруптивные взрывные (переменные) звезды. У некоторых из них за несколько десятков секунд яркость всей звезды возрастает порою в сотни раз. Если бы Солнце вело себя столь бурно, вряд ли на Земле могла бы существовать биосфера.

Так звезда двойного Мира в течение года меняет светимость в сотни раз.

Звезда EV Ящерицы 25 апреля 2008 г. породила вспышку, аналогичную солнечной, однако, магнитуда вспышки превосходила самую сильную из солнечных вспышек примерно в 10000 раз. Вспышка была столь яркой, что её можно было наблюдать невооруженным глазом (на расстоянии 16,5 световых лет).

Обнаружено несколько сотен так называемых новых звезд, которые демонстрировали увеличение светимости в течение нескольких суток в десятки и сотни тысяч раз (это не 1/1000 от колебаний светимости Солнца) и выделяли энергию за время вспышки, аналогичную той, что Солнце излучает за десятки тысяч лет.

Еще ужасней выглядит взрыв сверхновых звезд, тогда возрастание светимости происходит в десятки миллионов раз, а выделение энергии аналогично энерговыделению Солнца за десятки миллионов лет.

Уникальность Солнца еще в том, что оно *одиноко*. Звезды очень часто встречаются не в одиночку, а парами. Среди звезд, находящихся в пределах 10 парсек от Солнца, около 50% двойные. Еще до 1981 г. было известно около 60 тыс. визуально-двойных звезд. Двойной звездой является, кстати, самая яркая звезда небосвода – Сириус. Для планет в двойных звездах будут складываться, вероятно, гораздо более экстремальные и контрастные температурные условия. Примерно половина звезд нашей Галактики – двойные звезды.

Повезло Земле и в том, что у нее просто есть Солнце. Во Вселенной телескоп «Хаббл» обнаружил множество межзвездных планет (квазипланеты, или планеты-странники). Эти космические тела находятся в «свободном полете» и гравитационно не привязаны ни к одной звезде и, соответственно, обречены на вечный холод. Многие из странствующих планет по сути недоразвитые звезды, которым для термоядерных реакций не хватает массы (как Юпитер или Сатурн), вокруг них вращаются их холодные спутники.

12. Можно ли считать, что Земля стала уникальной планетой благодаря столкновению с другой планетой?

После того как планета сформировалась в пределах жилой зоны, небесное тело размерами приблизительно как Марс должно с ней столкнуться (согласно теории гигантского столкновения). Без такого столкновения на планете не образуются тектонические плиты, поскольку континентальная кора покрывает всю планету и не оставляет

места для океанической коры. Столкновение также может привести к появлению большого спутника, который стабилизирует ось вращения планеты. Слияние ядер планеты и небесного тела необходимо для формирования сверхмассивного планетного ядра, которое будет генерировать мощную магнитосферу, защищающую поверхность планеты от солнечной радиации.

13. Как Земля обзавелась своим спутником – Луной?

До того, как учёные получили образцы лунного грунта, они ничего не знали о том, когда и как образовалась Луна. Существовало три принципиально разных гипотезы:

1. Луна и Земля сформировались в одно и то же время из газопылевого облака;

2. Луна образовалась в результате столкновения Земли с другим объектом;

3. Луна сформировалась в другом месте и впоследствии была захвачена Землёй.

Однако информация, полученная путём изучения образцов с Луны (соотношение изотопов кислорода и титана в лунных образцах совпадает с земным), привела к созданию теории гигантского столкновения: 4,36 млрд. лет назад протоземля (Гея) столкнулась с протопланетой Тейя (размером с Марс, т.е. примерно по массе как 1/10 Земли). Удар пришёлся не по центру, а под углом (почти по касательной). В результате большая часть вещества ударившегося объекта и часть вещества земной мантии были выброшены на околоземную орбиту. Из этих обломков собралась протолуна и стала обращаться по орбите с радиусом около 60 тыс. км. Земля в результате удара получила резкий прирост скорости вращения (один оборот за 5 часов) и заметный наклон оси вращения. Хотя у этой гипотезы тоже есть недостатки, в настоящее время она считается основной.

Сейсмометрией на Луне были измерены размеры её железоникелевого ядра, которое оказалось меньше, чем предполагается другими гипотезами образования Луны (например, гипотезой одновременного формирования Луны и Земли). В то же время такой малый размер ядра хорошо вписывается в гипотезу столкновения, по которой считается, что Луна сформировалась в основном из выброшенного при ударе более легкого вещества мантии Земли и столкнувшегося с ней тела, в то время как тяжёлое ядро этого тела погрузилось и слилось с ядром Земли. Ядро Земли, усиленное железным ядром Тейи, породило мощное магнитное поле, надёжно защитив землю от радиации.

Помимо самого факта существования Луны, гипотеза объясняет и дефицит в земной коре фельзитических («светлых») и промежуточных пород, которых недостаточно для полного покрытия поверхности Земли. В результате мы имеем материки, состоящие из относительно лёгких фельзитических пород, и океанские бассейны, состоящие из более тёмных и тяжёлых металоносных пород. Такая разница в составе пород при наличии воды позволяет функционировать системе тектонического движения литосферных плит, образующих земную кору.

Также предполагается, что наклон земной оси и само вращение Земли – результат именно этого столкновения.

14. Как на эволюции Земли отразилось бы отсутствие естественного спутника – Луны?

Если бы у нашей планеты не было массивного спутника, Земля скорее всего, подобно Венере, медленно вращалась бы в обратную сторону (Венера вращается с востока на запад, и сутки длятся 243 земных суток) и также задержалась бы в своем тектоническом развитии на 2,5-3 млрд. лет. В таком варианте сейчас на Земле господствовали бы условия позднего архея с плотной углекислотной атмосферой (с давлением до 3-4 атмосфер) и высокими температурами (не менее +90-+100 °С), а вместо современной высокоорганизованной жизни Землю поселяли бы только примитивные одноклеточные прокариоты.

Согласно гипотезе гравитационного перехвата, Земля захватила протолуну с соседней гелиоцентрической орбиты. Земля, по предположению почти не обладала собственным осевым вращением, но в процессе приливного взаимодействия планет орбитальный момент протолуны (которая была тяжелее современной Луны в 2-4 раза) постепенно передавался протоземле. Приливные деформации расплавили протолуну, раскрутили и разогрели протоземлю (сутки протекали за 6 часов). Находясь близко к протоземле (в 8 тыс. км от поверхности), протолуна приливной волной (до 1,5 км высотой) разогревала вещество нашей планеты, запуская тектогенез. В это же время на протоземлю сыпался избыток лунного расплавленного вещества и ядра, что существенно «облегчило» Луну.

Таким образом, захват протоземлей протолуны 4,6 млрд. лет назад послужил тем механизмом, который запустил и существенно *активизировал тектоническое развитие* Земли в архее (ускорил образование атмосферы и гидросферы). Кроме того, Луна *раскрутила нашу планету*, определила своей орбитой захвата *наклон оси вращения*, а с этим явлением, как известно, связана вся климатическая зональность

Земли. Более того, сейчас определенно можно считать, что именно Луна, ускорив эволюционное развитие Земли, предопределила появление на ее поверхности высокоорганизованной жизни.

У Венеры нет массивного спутника, и она сейчас проходит архейскую стадию тектонического развития, «отстав» от Земли на 2-3 млрд. лет [Свиточ, 2004].

15. *Что еще для земной жизни дает Луна?*

На Земле одним из благоприятных для развития жизни условий было присутствие *массивного спутника*. Благодаря притяжению Луны на нашей планете образовался огромный по притяжению *приливо-отливный ареал*. Периодические и притом достаточно частые и резкие изменения этого ареала способствовали, как считают ученые, эволюции сухопутных живых существ из водных. В Солнечной системе только у Земли есть один большой спутник. Другие 8 планет имеют от 2 до 12 относительно мелких спутников. А даже второй спутник уже может ослаблять или уничтожать действие приливо-отливного фактора.

Наклон оси вращения Земли на $23,5^\circ$ предопределяет смену времен года и все природно-климатическое разнообразие планеты. *Стабилизирует этот наклон* достаточно массивная Луна. Без нее земная ось была бы хаотична и нестабильна, как например у Марса. Его спутники малы по размерам, и марсианская ось может крениться до 50° . Компьютерное моделирование, выполненное для Земли, показало, что без Луны угол ее наклона изменялся бы в еще больших пределах – от 0 до 85° . Но если бы Земля с Луной была на орбите Венеры, то под действием приливных сил она давно бы остановилась. На одной ее половине царил бы адский холод, а на другой – жуткий жар.

Спутник относительно больших размеров также увеличивает шансы выживания высокоорганизованных организмов, исполняя функции *астероидного щита*. Шансы столкновения астероида с массивнейшим объектом бинарной системы, такой как Земля и Луна, довольно незначительные. Большинство астероидов будут или полностью отброшены, или поразят менее массивный объект, чтобы попасть в более массивное тело нужна правильная комбинация скорости и угла падения. Таким образом, планета с большим спутником будет лучше защищена от столкновений.

Луна своим притяжением *порождает прецессию* (полный цикл 25729 лет), которая наряду с изменением эксцентриситета и наклона оси вращения *порождают ледниковые периоды* на Земле.

16. Найдены ли в дальнем космосе планеты по основным физическим параметрам похожие на нашу Землю?

Для планет земной группы, похожих на Землю, астрономы ввели термин «*двойник Земли*» (англ. Earth analog, Twin Earth) – гипотетическая экзопланета земного типа, которая лежит в пределах обитаемой зоны звезды и по размерам, массе и температурному режиму примерно соответствует Земле. Такие планеты представляют огромный интерес, как возможное будущее место обитания для человечества, поскольку эти планеты потенциально могут быть пригодны для жизни и по климату могут быть похожи на Землю (на них не очень жарко и не слишком холодно).

Согласно гипотезе уникальной Земли, двойники Земли – планеты очень редкие, и ещё более редки планеты, пригодные для жизни.

В настоящее время большой интерес учёных вызывают несколько планет земной группы, лежащие в «зоне обитаемости». Возможно, наиболее подобна Земле из известных планет – планета Глизе 581g, которая была открыта 30 сентября 2010 г., но пока ещё надёжно не подтверждённая. Планета расположена посередине зоны обитаемости звезды – красного карлика Глизе 581 (в 20 световых годах от Земли) и имеет минимальную массу, в 2,2 раза превышающую массу Земли. В системе этой же звезды расположены ещё две потенциально пригодные для жизни планеты: ближе к внешнему краю зоны обитаемости расположена Глизе 581d – её минимальная масса чуть более 7 масс Земли.

У внутреннего края зоны обитаемости вращается Глизе 581с с минимальной массой 5 масс Земли. Так, если альbedo (отражательная способность поверхности) этой планеты близко к альbedo Венеры (0,65), то температура на ней должна составлять около +3-+5 °С. При земном альbedo (0,36) средняя температура экзопланеты будет около +40 °С. Фактическая температура на поверхности также зависит от свойств планетарной атмосферы. Согласно моделям, считается, что у Глизе 581с есть атмосфера. Ожидается, что реальные средние температуры на планете достаточно высоки, например, соответствующее вычисление для «земной» атмосферы даёт среднюю температуру в +17 °С (на Земле +15 °С). При этом существует возможность того, что планета при своей массе обладает мощной атмосферой с высоким содержанием метана и углекислого газа и температура на поверхности намного выше (до +100 °С) вследствие парникового эффекта, как на Венере.

В августе 2011 г. была обнаружена ещё одна потенциально пригодная планета для жизни – HD 85512 b, но эта планета скорее всего похожа на Венеру, поскольку получает от своей звезды почти столько же тепла, сколько Венера от Солнца.

В декабре 2011 г. обнаружена планета, потенциально пригодная для жизни – Kepler-22b, средняя температура планеты от -11 до $+22^{\circ}\text{C}$ в зависимости от состава и плотности атмосферы планеты. Планета имеет слишком большой диаметр, в 2,4 раза превышающий земной, и скорее всего является субгигантом (мининептуном).

Двойников Земли необходимо искать среди так называемых «суперземель» (или сверхземель) – класс планет, масса которых превышает массу Земли, но значительно меньше массы газовых гигантов. Термин «суперземля» описывает исключительно массу планеты, но не зависит от степени её близости к своей звезде или каких-либо других критериев.

Под суперземлёй понимают планету с массой 1-10 масс Земли (в других источниках – 5-10 масс Земли). Граница между суперземлями и газовыми гигантами типа Нептуна нечётка и оценивается примерно в 10 масс Земли.

17. Каковы физические условия на большинстве планет вне пределов Солнечной системы, близких по своим размерам к Земле?

Общее количество суперземель, обнаруженных к 2013 г., постепенно приближается к 1 тыс. Большинство из них обращается вблизи звёзд небольшой массы, менее солнечной, относящихся к оранжевым и красным карликам. Массы звёзд в основном варьировали от 0,31 до 0,84 масс Солнца.

16 октября 2012 г. в ближайшей звездной системе Альфа Центавра (4,37 световых лет от Земли) открыта планета-суперземля очень близкая по размерам к Земле. Планета представляет собой суперземлю с массой, превышающей массу Земли как минимум в 1,13 раза. Она обращается чрезвычайно близко к родительской звезде, на расстоянии 0,04 а. е (6 млн. км). Год на ней длится всего 3,2 земных дня. Из-за очень близкого расположения к светилу Альфа Центавра В b не попадает в обитаемую зону. Температура поверхности планеты оценивается приблизительно в $+1200^{\circ}\text{C}$, что выше температуры плавления большинства видов силикатной магмы. Для сравнения, средняя температура на поверхности Венеры, самой горячей планеты в Солнечной системе, составляет $+462^{\circ}\text{C}$.

Большинство описанных суперземель очень горячи и находятся слишком близко к материнским звездам, поражая воображение сверхэкстремальными условиями на своей поверхности.

Так, 3 февраля 2009 г. была найдена планета COROT-7 b с массой в 4,8 масс Земли. Орбитальный период на планете длится около 20 часов, что делает год на планете самым коротким из всех известных планет. Планета имеет аналогичное с Землёй строение (состоит из каменных минералов, так же как и планеты земной группы в Солнечной системе), но удалена от своей звезды всего на 0,017 а. е. (1/70 расстояния Земля-Солнце). На планете (на её освещённой стороне) находится обширный лавовый океан, который образуется при температуре около +2500-2600 °С (температура на Венере в +460 °С уже не кажется на этом фоне экстремальной). Это выше температуры плавления большинства известных минералов. Атмосфера планеты состоит главным образом из испарившейся породы и выпадает на тёмную и освещённую сторону каменными осадками. Планета, вероятно, повернута к звезде постоянно одной стороной.

10 января 2011 г. телескоп «Кеплер» обнаружил в 564 световых годах от Солнечной системы с помощью транзитного метода не менее экстремальную суперземлю Kepler-10 b, которая стала первой подтверждённой железной планетой.

Kepler-10 b имеет довольно много общего с COROT-7 b, она находится очень близко к своей звезде ($\approx 0,017$ а. е., 1/20 от радиуса орбиты Меркурия), имеет очень короткий период обращения вокруг своей звезды (20 часов) и очень высокую температуру поверхности (≈ 1600 °С). Уникальной является очень высокая плотность планеты: она составляет $8,8$ г/см³, что выше плотности железа, таким образом, предполагается, что планета является железной и в её состав не входит мантия. Радиус планеты больше земного в 1,4 раза, а масса – в 4,5 раза. Очень высокая температура поверхности приводит к тому, что железо на планете находится в жидком состоянии. Освещённая сторона планеты скорее всего покрыта расплавленным металлическим океаном.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, КОМПАС

1. *Какой учёный в книге «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле» сделал вывод, что Земля представляет собой гигантский магнит?*

Англичанин У. Гилберт (1544-1603) в 1600 г. опубликовал выводы, что Земля представляет собой гигантский магнит.

В 1544 г. пастор Нюрнберга *Г. Гартман* заметил, что северный конец магнитной стрелки всегда стремится наклониться вниз.

2. *Какой французский учёный в конце XVI в. в своём трактате, опубликованном в 1558 г., первым предложил назвать один конец компасной стрелки северным, а противоположный южным и таким образом, он ввёл понятие о северных и южных полюсах, которое сохранилось до наших дней?*

П. Перегрин, заслугой которого стало то, что он усовершенствовал компас, совместив его с морской астролябией (круг с указанием сторон горизонта).

Итальянец *Ф. Джойн* ввёл в употребление компас со свободно вращающейся на вертикальной игле магнитной стрелкой, под которой расположен бумажный круг, разделённый на 32 части (32 румба). Именно в таком виде он, без значительных изменений сохранился до наших дней.

3. *Какой путешественник впервые столкнулся во время путешествия с магнитным склонением, из-за чего экспедиция под его руководством была под угрозой срыва?*

Во время первого путешествия *Христофора Колумба* к Новому свету случайно было обнаружено магнитное склонение. Рулевые заметили, что стрелка компаса вдруг отклонилась на 10° . Весть об этом моментально облетела команду. Команда взбунтовалась и потребовала возвращения, считая, что отклонение стрелки – дурное предзнаменование. Колумбу с трудом удалось успокоить матросов, прибегнув при этом к хитрости: он незаметно передвинул катушку компаса на целый румб. После этого путешествие продолжилось. У берегов Америки Колумб был поражён тем, что стрелка вновь установилась правильно.

4. *Из какого природного материала делали магнитную стрелку для компасов?*

Из минерала *магнитного железняка* (Fe_3O_4), или магнетита с плотностью 5 г/см^3 .

Название минерала по одной легенде происходит от имени пастуха Магнеса, заметившего, что железный наконечник его палки и подбитые гвоздями сапоги прилипают к некоторым камням. Эти камни стали называть камнями Магнеса, или магнитом. По другой версии слово «магнит» связано с холмами Магнезии в Малой Азии, где добы-

вали этот минерал; есть также предположение о связи названия «магнит» с железным гробом пророка Магомета.

5. Как кроме «компаса» называют прибор для нахождения магнитных полюсов?

Термин «компас» был в употреблении задолго до того, как прибор был изобретен. «Компасом» первоначально называлась морская карта (портолан), на которой кроме изображений берегов указывались преобладающие направления ветров, приводились расстояния между гаванями и прочие необходимые и полезные для судоходства и торговли сведения. Объясняя, как лучше вести судно, такая карта была незаменимой помощницей моряков. Подобное значение имело и новое «вспомогательное средство», как тогда называли свои навигационные инструменты мореходы. Вполне естественно, что оно и приняло готовое название «компас». Первые упоминания о том, что компас называется «компасом», встречаются в работах только с XV в.

Первые названия путевого магнита на разных языках звучали так: у китайцев – «чжу-ши» или «ше-ши», у англичан – «лоудстоун», у норвежцев – «лейдарстейн». Все это означает *«камень для управления»*, *«ведущий камень»* или *«камень, показывающий на юг»*. Но в Италии указатель в виде магнитной стрелки, помещенной в тростниковой трубочке, плавающей на воде, стали называть «каламита»; от стрелки это название перешло на магнит, а затем на все устройство – плавающую в закрытой коробке стрелку или магнит. «Каламита» – вот оно, первое название простейших компасов, которые точнее было бы определить, как *«указатель севера»*.

Когда магнитную стрелку начали вкладывать в коробку с крышкой для защиты от ветра, прибор получил название *«буссоль»* (с лат. «букус» – коробка, которую делали из букового дерева). Интересно, что и в других частях света были похожие названия: *«дом иглы»* – у арабов, *«коробка направлений»*, *«коробка звезд»* – у китайцев. Термин буссоль впервые упоминается с 1380 г.

Разумеется, в разных странах магнитный указатель назывался по-разному. Так, в Китае – это *«указатель юга»*, *«управляющее зеркало»*, *«зеркало ветра»*, в Маньчжурии – *«ведущее зеркало»*, в Японии – *«направляющее зеркало»*, «указатель юга», на Индостанском полуострове – *«указатель полюсов»*, в Персидском заливе – *«стрелка, что указывает на полюс»*, *«указатель киблы»*, *«зеркало познания»*.

Русские поморы компас называли в просторечии уважительным именем *«маточник»*, *«матка»*, потому что он «главный и первый

инструмент у мореплавателей и без него невозможно в дальнее плавание пускаться».

Сейчас компас – общее название для всех приборов с магнитным указателем направлений. Компас позволяет находить направления – стороны горизонта, азимуты на какие-либо ориентиры, что можно делать с помощью буссоли. Вот почему в испанском, французском и ряде других языков компас и буссоль – синонимы.

6. Когда появилось геомагнитное поле Земли?

Согласно современным представлениям геомагнитное поле образовалось приблизительно через 1 млрд. лет после образования самой Земли, возраст которой составляет около 4,5 млрд. лет. Оно возникло после дифференциации вещества Земли на ядро, мантию и кору, и начало движения жидкого электропроводного ядра.

До появления магнитного поля поверхность Земли подвергалась непрерывному воздействию «стерилизующей» космической радиации (поток протонов, электронов, ионов гелия, кислорода, кремния, серы, железа и др., летящих со скоростью 700 км/с), которая препятствовала зарождению жизни.

7. Какова сила магнитного поля Земли по сравнению с другими планетами земной группы?

Интенсивность магнитного поля Земли можно представить следующим образом. Чтобы создать наблюдаемое геомагнитное поле, потребовалось бы поместить в центре Земли гигантский цилиндрический магнит длиной 4000 км и диаметром 200 км. Однако если отнести магнитность такого диполя ко всему объему земного шара, то средняя намагниченность вещества составит менее тысячной доли по сравнению с намагниченностью обычных магнитов.

В то же время напряженность магнитного поля Земли в 2-3 тысячи раз выше напряженности магнитного поля Венеры (которая по массе сопоставима с нашей планетой). У Марса напряженность магнитного поля вблизи экватора определена в 64 гамм, что приблизительно в 600 раз слабее напряженности магнитного поля Земли (0,4 Э или 40000 гамм, 0,6-0,7 Э у полюсов). Для сравнения, вокруг солнечных пятен магнитное поле имеет напряженность в среднем 3000 Э или в 7500 раз сильнее напряженности земного магнитного поля и сопоставима с силой обычного магнита.

8. Влияет ли магнитная активность Солнца и Земли на климат Земли?

Магнитное поле Земли и климат. Здесь в последнее время обнаруживается заметная связь. Чехословацкие и американские геофизики провели сравнение, как менялись климатические условия и магнитное поле с 1925 по 1970 г. Выяснилась четкая закономерность: за все годы в Северном полушарии росла напряженность магнитного поля и соответственно повышалась среднегодовая температура.

В Южном полушарии Земли происходило обратное явление, одновременно снижались магнитная напряженность и температура. Интересен и такой факт: с 1640 по 1710 гг. на Солнце почти полностью отсутствовали пятна (участки повышенной магнитной активности). И на Земле повсеместно стояли суровые зимы. Среднегодовая температура на всем земном шаре в этот малый ледниковый период упала на целый градус.

9. Можно ли по компасу и Луне определять время?

Относительно несложно определять время по компасу и Луне в полнолуние. Определяем азимут на Луну, например, он равен 180° . Делим азимут на 15° (15° – величина поворота Земли вокруг своей оси за 1 час). $180^\circ:15^\circ=12$, добавим 2 часа (декретное, летнее время) и 12 часов (условно полный диск Луны делится на 12 равных частей). $12+2+12=26$ или 24 (полночь) плюс 2, или другими словами 2 часа ночи. Если азимут 90° , то время: $90^\circ:15^\circ=6$ и $+(12+2)=20$ часов вечера.

Если азимут равен 270° , то время: $270^\circ:15^\circ=18$ и $+12=30+2=32$. Из полученного результата отнимем 24 (величина полных суток) $32-24=8$ часов утра.

Если Луна в первой четверти (видимый полудиск как бы образует букву «P», показывая, что Луна растет), то определяем на Луну азимут и делим на 15° . Например, $270^\circ:15=18$, прибавим 2 часа и добавим 6 (полный диск Луны – 12, а половина – 6), $18+2+6=26$, и отнимем 24 (величину суток), $26-24=2$ часа ночи.

В третьей четверти (когда половина Луны образует букву «C»), показывая, что стареет.

Азимут, например, $180:15=12$, плюс 2 часа (декретное и летнее время) и минус 6 (величина полудиска): $(12+2)-6=8$ часов утра.

10. Можно ли по компасу и Солнцу определять время?

Оказывается, компас может играть роль часов. Время по компасу определяется следующим образом. Сначала измеряем азимут на Солн-

це. Допустим, что он равен 90° . Делим это число на 15° ($15^\circ - 1/24$ часть окружности – величина поворота Земли вокруг своей оси на 1 час): $90:15=6$. К полученному числу прибавляем 2 часа (1 час – декретное время, введенное в СССР с 1930 г. и 1 час – летнее время, ставшее с 2011 г. круглогодичным). $6+2=8$, это значит, что сейчас 8 часов утра. Допустим, азимут равен 180° . $180:15=12$; $12+2=14$, это значит, что время в данной местности 14 часов и без добавленных двух часов соответствует истинному полдню.

11. Какова скорость перемещения магнитных полюсов?

Северный магнитный полюс дрейфует со скоростью 5-6 км/год, но в 2002 г. скорость его перемещения возросла до 40 км/час.

12. Какова площадь магнитных полюсов Земли?

В отличие от географических полюсов, представляющих собой условные точки, магнитные полюса показывают на картах не точками, а кружками. Высоточные измерения показали, что в течение суток происходит перемещение магнитных полюсов на земной поверхности, причём отклонения полюса от его среднего положения достигают 100 км. Это связано с суточными изменениями освещения и электрической проводимости в ионосфере.

ЧАСОВЫЕ ПОЯСА, КАЛЕНДАРЬ, ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Почему в неделе 7 дней?

Планеты: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн – имена римских богов; Солнце и Луна также относились к божествам. Под иными, но равнозначными названиями эти небесные тела считались божествами у других более древних народов. Заметим, что общее число указаний богов равно семи. Число же 7 считалось раньше священным. Луна меняет свои четверти примерно через 7 суток: после новолуния через 7 суток – первая четверть; еще через 7 суток – полнолуние и т. д.

Для удобства месяц по приметным признакам (изменения вида Луны) разделили на 4 части; отсюда еще с древних времен пошла семидневная неделя. Астрологи предсказывали судьбу по планетам, и в этих «предсказаниях» большую роль играла семидневная неделя. Каждый день недели был связан с определенным «божеством» – небесным телом. Интересно, что древние названия недели дошли до нашего времени.

Во Франции понедельник называется Lundi (от лат. Lunae dies – день Луны); вторник – Mardi (от лат. Martus dies – день Марса); среда – Mercredi (от лат. Mercurii dies – день Меркурия); четверг – Jeudi (от лат. Louis dies – день Юпитера); пятница – Vendredi (от лат. Veneris dies – день Венеры); суббота – Samedi (от лат. Saturni dies – день Сатурна). У немцев воскресенье называется Sonntag (день Солнца). Названия планет в названиях дней прослеживаются также в английском, итальянском, испанском, немецком и других европейских языках.

2. Когда начинаются лето, осень, весна, зима по астрономическому календарю и какое время года более продолжительное?

Начало каждого сезона по астрономическому критерию определяется положением и движением Солнца по небесной сфере. Так, весна по астрономическому счету времени начинается, когда центр видимого диска Солнца пересекает небесный экватор, переходя из Южного полушария небесной сферы в Северное, и находится в точке весеннего равноденствия (21 марта).

Лето начинается с дня летнего солнцестояния 22 июня, после чего день начинает медленно убывать. 23 сентября Солнце проходит через точку осеннего равноденствия, и с этого дня начинается осень. Со дня зимнего солнцестояния, с 22 декабря, начинается зима, в течение которой продолжительность дня постепенно увеличивается.

Продолжительность времен года не одинакова: весна содержит 92,8, лето – 93,6, осень – 89,8, зима – 89 суток. Это объясняется тем, что орбита Земли не круг, а эллипс, и линии солнцестояний и равноденствий делят земную эллиптическую орбиту на четыре неравные части, для прохождения которых требуется неодинаковое время.

3. С какой целью у нас в стране ежегодно до 2011 г. переводили стрелки часов в последнее воскресенье марта на 1 час вперед и в последнее воскресенье октября на 1 час назад?

В СССР жили не по солнечному и не по поясному, а по так называемому «декретному» времени, введенному декретом Совнаркома СССР от 16 июня 1930 г. из соображений удобства гражданской жизни и экономии электроэнергии. Согласно этому декрету, часовые стрелки всех часов в СССР были передвинуты на один час вперед. Однако впоследствии стрелки назад не переводились, и с тех пор такое время, отличающееся от поясного на один час, у нас называется декретным временем, и оно действовало до 1 апреля 1981 г.

С 1 апреля 1981 г. в полночь в стране стрелки всех часов были переведены ровно на один час вперед, и был осуществлен переход к летнему времени. Смысл введения летнего времени заключается в том, чтобы «выкроить» дополнительный час в светлое время суток и таким образом более рационально использовать утренний свет.

По подсчетам специалистов декретное и летнее время вместе позволяли экономить в СССР примерно 7 млрд. кВт-часов электроэнергии, другими словами, расход энергии уменьшается на мощность одной крупной ГЭС. На каждого жителя страны в среднем экономилось 25-30 кВт, благодаря тому что бодрствование людей «вписывалось» в светлое время суток. Без декретного и летнего времени каждый житель страны в среднем ежедневно включал бы лампочку в 60-100 Вт на 1-1,5 «лишних» часа. По заключению врачей перевод стрелки часов вперед на самочувствие людей не оказывает влияния. Наоборот, «лишний» час дневного света сокращает так называемое «световое голодание», в частности меньше нагрузок выпадает на зрение.

4. Развитие какого вида транспорта потребовало введения поясного времени?

Бурное строительство *железных дорог*, особенно в США. В 1880-х гг. в США каждая железная дорога вводила свое «единое» время, действующее на данной дороге или на большом ее участке. В качестве «единого» выбиралось среднее время для данной территории. В результате этого образовалось около 75 различных систем счета времени, и на некоторых узловых станциях стояло трое часов, указывающих время станции и время поездов, идущих на запад и восток. Такое положение становилось все более нетерпимым.

В 1870 г. инженер канадских железных дорог *Сандфорд Флеминг* предложил ввести часовые пояса, проводя их через каждые 15° по долготе, начиная от гринвичского меридиана. В 1883 г. этот проект был принят в США и Канаде, а затем и в других государствах.

В России поясное время было введено 8 февраля 1919 г. декретом Совнаркома. Поясное время установлено следующим образом: весь земной шар разбит на 24 часовых пояса по 15° в каждом. Внутри каждого пояса время считается одинаковым – среднепоясным. При переезде из одного пояса в другой стрелки часов передвигаются сразу на один час.

5. У школьников каникулы распределены на лето, осень, зиму, весну, а когда наступают истинные каникулы, связанные с названием одной из звезд ночного неба?

Настоящие каникулы могут быть только летом, именно в это время в утреннем небе появлялась «собачья» звезда Сириус. Латинское название звезды *Сириус* – «*Каникула*» – означает «маленькая собачка». Римский сенат объявлял дни отдыха в самое жаркое летнее время, когда эта звезда появлялась в утреннем небе, отсюда и происходит слово «каникулы».

Сириус (лат. *Sirius*) – ярчайшая звезда ночного неба. Сириус можно наблюдать из любого региона Земли, за исключением самых северных её областей. Сириус удалён на 8,6 световых лет от Солнечной системы и является одной из ближайших к нам звёзд.

«Каникулой» – собачонкой именовали римляне звезду Сириус, считая её охотничьим псом небесного ловчего Ориона (охотится на быка – тельца). Когда Сириус появлялся на небосклоне, в Риме начинались самые жаркие летние дни и объявлялся перерыв во всяких занятиях. Естественно, он и получил название «каникулы».

В русский язык слово «каникулы» предположительно в XVIII в. пришло через польский язык из латинского, в котором изначально выглядело как «*canicula*» – «собачка» (уменьшительное от «*canis*» – «собака»). В древности считалось, что «планета» Сириус (которая по-гречески называлась «*Κιων*» – «собака») приближается к Солнцу ближе, из-за чего наступают жаркие дни. Последние из-за этого назывались «*dei caniculare*» – «собачьи дни». По другой версии в Древнем Риме время летнего отдыха приходилось на период с 22 июля по 23 августа, а Солнце в эти дни находится в созвездии Малого Пса, отсюда и название: «малый пёс» = «собачка».

6. В момент, когда мы замечаем самую короткую тень – сколько времени показывают наши часы?

Не «12 часов», как обычно отвечают, а на 2 часа больше. Мы живем по «декретному времени», т. е. на час вперед, и с 2011 г. – по «летнему времени», т. е. еще на один час вперед.

Чтобы точно узнать время в солнечный полдень, необходимо установить гномон. Для того чтобы его изготовить, понадобится вертикально вбить в землю шест, пользуясь отвесом. За один-два часа до полудня отметим конец тени от шеста колышком. Возьмем шнур, один его конец привяжем к основанию гномона. Используя свободную часть шнура, как циркулем начертим на земле окружность, проходя-

щую через вбитый колышек. Тень от места будет сначала сокращаться, а потом расти, при этом медленно поворачиваясь. Когда она вновь коснется начерченной нами окружности, отметим конец тени другим колышком. Прямая, проходящая через середину линии, соединяющей первый и второй колышки, и основания гномона – полуденная линия (меридиан). Теперь мы в любой день сможем определить момент истинного полдня.

Узнать время истинного полдня можно, зная точное время восхода и захода Солнца. Так, в Благовещенске в декабре Солнце восходит в 9.20 и заходит в 17.20, и фактически в Благовещенске истинный полдень наступает в 13.20 по местному времени (среднее арифметическое между восходом и закатом).

7. *Какая единица измерения равна одному «шагу» Солнца?*

Наблюдая за Солнцем, вавилонские жрецы пытались измерить дневной его путь. Долго думали они над решением этой задачи и в конце концов блестяще с ней справились. Жрецы подсчитали, что если по небосводу по линии пути, совершаемого Солнцем в течение дня, уложить вплотную друг к другу диски с диаметром как у солнечного круга, то их окажется ровно 180. Значит, Солнце, думали жрецы, за день делает 180 «шагов». Вторую половину пути оно совершает ночью, поэтому весь суточный путь его равен 360 «шагам». Отсюда возникло священное число 360, так появился и градус, латинское слово «шаг». Определяя какой-нибудь угол в градусах, мы и не подозреваем, что измеряем его солнечными «шагами».

По современным астрономическим наблюдениям за минуту Солнце и Луна перемещаются по небесному своду на половину своего диска (за 12 часов на 360 своих диаметров).

8. *В каких странах Новый год встречают не 1 января?*

Новый год в буддийских странах наступает по лунному календарю и не имеет фиксированной даты, поскольку отмечается в первое новолуние, считающееся в этих странах весенним (в 2007 г. – 17 февраля). Традиция отмечать Новый год именно в этот день бытует в Китае, Малайзии, Вьетнаме, Сингапуре, Корее, Монголии и ряде других стран (Бурятии, Калмыкии, Тыве).

Мусульманский Новый год отмечается в первый день месяца Мухаррам, в 2007 г. в начале марта. Весной же можно встретить и Навруз – персидский Новый год, отмечаемый с 21 на 22 марта, в день весенне-

го равноденствия в Иране, Афганистане, Таджикистане. В Индии Новый год отмечается 22 марта.

В Шри-Ланке Новый год отметят 13 апреля, а Лаосе 14 апреля, в Мьянме с 12 по 17 апреля (точная дата ежегодно устанавливается министерством культуры страны), в Таиланде во второй декаде апреля.

Индийцы майя встречают Новый год 16 июля, а в Джибути и Нигере в августе. В Сирии его встретят 1 сентября, в Израиле 7-8 сентября, 11 сентября в Эфиопии, где он завершает сезон дождей. В Гамбию Новый год приходит 7 октября, а в период с 15 октября по 15 ноября его встретят в Непале, 18 ноября в Йемене. Также в середине ноября Новый год встречают в ряде государств Океании и на Гавайях. Кельтский Новый год отмечают в Шотландии, Ирландии с 31 октября на 1 ноября. У эскимосов начало новогоднего праздника определяется по первому выпавшему снегу.

СОЛНЦЕ

СОЛНЦЕ – «ОБЫЧНАЯ» УНИКАЛЬНАЯ ЗВЕЗДА

1. Источник энергии на Солнце и в звездах термоядерные реакции превращения водорода в гелий, как быстро протекает эта реакция для отдельных частиц?

В водородной бомбе термоядерная реакция протекает за несколько миллионных долей секунд, однако в недрах Солнца процесс ядерного синтеза идет не так быстро. Реакция начинается с столкновений между протонами, в результате которых получается ядро «тяжелого водорода – дейтерия». Даже в условиях звездных недр это происходит очень редко. Как правило, столкновения между протонами являются упругими: после столкновения частицы просто разлетаются в разные стороны. Каждый протон имеет реальный шанс превратиться при столкновении в дейтерий только раз в несколько десятков миллиардов лет. По-другому складывается судьба вновь образовавшихся ядер дейтерия. Они «жадно», всего за несколько секунд «заглатывают» какой-нибудь близкий протон, превращаясь в изотоп гелия He^3 . Полученный He^3 раз в несколько миллионов лет сталкивается с такой же частицей, превращаясь в ядро «обыкновенного» гелия и два протона.

В азотно-кислородном цикле ядерных превращений цепочка реакций от начала до конца длится около 340 млн. лет. Таким образом, для каждого «активного» (т.е. участвующего в цикле) ядра реакции

протекают чрезвычайно медленно, общей продолжительностью в несколько миллионов лет.

«Затянутасть» процесса позволяет растянуть весь жизненный цикл для звезд, подобных Солнцу, на 10 и более миллиардов лет. Только при взрыве сверхновых тяжелых звезд складываются уникальные условия, когда реакции протекают за секунды, и тогда в космосе происходит грандиозный фейерверк, когда за секунду звезда излучает в 10 млрд. раз больше энергии, чем Солнце.

Физико-химический состав Солнца не может ни при каких условиях привести к ядерному взрыву звезды, по крайней мере на ближайшие несколько млрд. лет. Масса Солнца недостаточна для того, чтобы закончить свой жизненный цикл взрывом сверхновой.

Человек со средней массой 70 кг содержит 7 кг (10% массы) водорода, который в условиях термоядерных реакций недр звезд может дать энергии столько же, как и 400 тыс. т тротила. В случае взрывного выделения энергии этого количества энергии хватило бы, чтобы заменить 20 бомб, аналогичных той, что уничтожила Хиросиму 6 августа 1945 г.

2. В Солнце, как и в других звездах, силы гравитации и давления раскаленных недр уравновешены, как изменилось бы Солнце, если бы одна из сил исчезла?

Звезды – огромные газовые шары. Весьма существенно, что такой шар «цементируется» силой всемирного тяготения, т.е. гравитацией. Именно эта сила препятствует разлету различных частей газа, образующего звезду, в окружающее пространство. Если бы не было этой силы, газ, образующий звезду, вначале распался бы, образовав нечто вроде плотной туманности, а потом окончательно рассеялся бы в огромном, окружающем звезду звездном пространстве. При температуре около 10000 °С тепловая скорость атомов водорода близка к 10 км/с, при этой скорости в сутки радиус звезды увеличивался бы за сутки почти на 1 млн. км, а за полгода её радиус достиг бы орбиты Земли.

Но если бы на частицы, образующие звезду, действовала только сила всемирного тяготения, то звезда стала бы катастрофически быстро сжиматься. Для Солнца расчетное время «сжатия» звезды к центру составляет всего 20 минут. Таким образом, если бы никакая сила не противодействовала гравитации, наружные слои звезды буквально рухнули бы, а звезда катастрофически бы сжалась за какую-нибудь долю часа.

Однако чудовищной силе гравитации противостоит чудовищное давление раскаленных недр с давлением более 10 млрд. атмосфер. История существования любой звезды – это поистине титаническая борьба между силой гравитации, стремящейся ее неограниченно сжать, и силой газового давления, стремящейся её «распылить», рассеять в окружающем пространстве. Многие миллионы и миллиарды лет длится эта «борьба». В течение этих чудовищно больших сроков силы равны. И только в конце жизненного цикла звезды победа будет за гравитацией, которая сожмет «умирающую» звезду до белого карлика или нейтронной звезды.

3. Какова средняя температура нашего Солнца?

Поверхность Солнца имеет температуру около +6000 °С, однако, недра звезды гораздо более теплые. Учитывая, что плотность звездного вещества растет по направлению к центру, мы можем сделать вывод, что основная часть массы звезды имеет температуру, во всяком случае превышающую 5 млн. градусов. Таким образом, Солнце почти в 1000 раз горячее «остывшей» внешней оболочки.

В недрах Солнца запас лучистой энергии огромен и достигает 10^{45} эрг. Если бы ничто не сдерживало кванты этого жесткого излучения, они за пару секунд покинули бы Солнце, и эта чудовищная вспышка, несомненно, сожгла бы все живое на поверхности Земли. Это не происходит потому, что излучение буквально «заперто» внутри Солнца. Огромная толща вещества Солнца служит надежным «буфером». Запаса тепловой энергии Солнца (4×10^{48} эрг), при наблюдаемой мощности солнечного излучения (4×10^{33} эрг/сек), хватит на 10^{15} секунд или на 30 млн. лет.

4. Может ли Солнце взорваться?

Солнце, как известно, на 70% состоит из водорода и на 27% из гелия. Основным горючим для реакции синтеза выступает водород, который, соединяясь в экстремальных условиях ядра Солнца, рождает гелий. Скорость ядерных реакций с температурой быстро возрастает. Но такая ситуация встречается и для некоторых химических реакций. Например, при комнатной температуре в смеси водорода и кислорода реакция образования воды практически не происходит, а поднеси эту смесь к огню, раздастся взрыв.

Как он начинается? В месте запыла нагрев небольшого объема газов рождает ускорение реакции, а выделение энергии от нее еще больше разогревает смесь. Реакция моментально охватывает все до-

ступное вещество – происходит взрыв. Почему же Солнце не взрывается? Ведь, кажется, что все это почти дословно может относиться и к нему (оно из сплошной взрывчатки или горючего).

Допустим, в каком-то месте внутри Солнца температура оказалась чуть выше равновесной, ядерные реакции пойдут более интенсивно, это приведет к еще более сильному местному нагреванию, вовлекающему в быструю реакцию все более обширные прилегающие области солнечной плазмы. Теплоотвод с повышением температур тоже возрастет, но не в такой степени – избыточное тепло не успеет излучиться. Что же получится? Малое температурное возмущение должно нарастать до быстрого сжигания всего горючего, а это взрыв. Силу возможного взрыва сложно вообразить, достаточно представить, что только 1 кг водорода при полном сжигании в гелий выделяет энергию, эквивалентную взрыву 57 тыс. т тротила. В Солнце 70% водорода, а это в 230580 раз больше массы земного шара – силу потенциального взрыва трудно вообразить. Однако звезды, если и взрываются, то в конце своего жизненного цикла, после того как запасы горючего иссякнут.

Однако нашему светилу на ближайшие 10 млрд. лет не грозит перспектива взрыва. Нужны весьма особые условия для того, чтобы звезда взорвалась. Вот что обеспечивает устойчивость звезд.

Если почему-либо в звезде выделяется лишняя энергия, то намного раньше, чем начнутся интенсивные ядерные превращения, в этом месте звезды успеет выровняться давление, а звезда в целом слегка расширится. Радиус звезды при этом увеличится, а это понизит её температуру. Таким образом, выделение энергии, нагревание звезды приводят к уменьшению её температуры за счет расширения. Незначительное падение температуры резко тормозит термоядерную реакцию, и угроза взрыва ликвидируется. Таким образом, баланс тепловой и гравитационной энергии обеспечивает устойчивость звезд на протяжении всей её жизни, и нарушается этот баланс только в конце жизни звезды, когда крупные звезды действительно взрываются.

5. *Какая часть солнечной энергии, достигшей поверхности Земли, поглощается растениями и переходит в биомассу, в том числе в наши тела?*

Образование органического вещества как на суше, так и в океане начинается с воздействия солнечного света на хлорофилл зеленых растений. Из каждых 10000 фотонов, достигающих географической обложки не более 100 идет на производство органики, из них 60 расходу-

ется растениями суши и 40 фитопланктоном океана. Таким образом, на фотосинтез затрачивается всего лишь не более 1/100 части солнечной энергии, достигающей поверхности Земли.

6. Какая часть солнечной энергии, достигающей земной поверхности, поглощается растениями, давая энергию для жизни на Земле?

Зеленая масса растений Земли поглощает и усваивает всего около 0,3% энергии излучения Солнца, падающей на земную поверхность. Но и этого количества энергии достаточно, чтобы обеспечить синтез гигантской массы органического вещества биосферы. В оптимальных условиях растения способны усваивать 5-10% энергии лучей Солнца, падающих на листовую пластинку.

Растения поглощают не все видимые лучи Солнца, а главным образом красные и синие лучи. Хлорофилл плохо поглощает зеленые лучи, но зато он хорошо их отражает и рассеивает, потому те части растений, которые содержат хлорофилл, имеют зеленую окраску. За год на Земле образуется около 8000 млрд. т биомассы, или около 1,5-2 кг сухой массы на каждый квадратный метр земной поверхности.

7. Какие процессы генерирует на Земле солнечная энергия?

Пожалуй, наиболее образно значение Солнца для жизни описал К.А. Тимирязев – *«Когда-то, где-то на Землю упал луч Солнца, но он упал не на бесплодную почву, он упал на зеленую былинку пшеничного ростка, или, лучше сказать, на хлорофилловое зерно. Ударяясь о него, он потух, перестал быть светом, но не исчез. Он только затратился на внутреннюю работу, он рассек, разорвал связь между частицами углерода и кислорода (по современным представлениям, энергия света расходуется на расщепление молекул воды), соединенными в углекислоте. Освобожденный углерод, соединяясь с водой, образовал крахмал. В той или иной форме он вошел в состав хлеба, который послужил нам пищей. ... И вот теперь атомы углерода стремятся в наших организмах вновь соединиться с кислородом, который кровь разносит во все концы нашего тела. При этом луч Солнца, таившийся в них в виде химического напряжения, вновь принимает форму явной силы. Этот луч Солнца согревает нас. Он приводит нас в движение. Быть может, в эту минуту он играет в нашем мозгу».*

Солнечный луч непрерывно заряжает энергией машину жизни, стимулирует появление все новых жизненных форм. Человек как физиологически, так и в производственной деятельности использует почти исключительно энергию солнечного света, законсервированную в

нефти, газе, угле, древесине, в энергии ветра и падающей воды. В природе, пожалуй, основное значение Солнечной энергии – согревание Земли и круговорот воды в природе. Люди с глубокой древности осознавали жизненно-важное значение Солнца и потому обожествляли его.

8. *Меняются ли со временем размеры и энерговыделение Солнца, и как это отражается на климате Земли?*

Расчеты эволюции Солнца в процессе ядерного горения водорода приводят к выводу, что 4 млрд. лет назад радиус Солнца был равен 0,93 его современного радиуса (на 7% меньше современного), а температура поверхности была на 3-4% меньше современной. Это значит, что светимость Солнца в те времена была на 25% или даже на 30% меньше, чем сегодня.

Такое, в общем-то, небольшое количественное отличие для Солнца приводит к качественному парадоксу для Земли. Формула для радиационной температуры дает при этом настолько низкую температуру земной атмосферы, что даже с учетом парникового эффекта представляется неизбежным полное оледенение Земли. Однако этот вывод противоречит данным геологической истории нашей планеты. Кроме того, из-за большого альbedo льда полностью оледеневшая Земля никогда не смогла бы перейти к современному климату.

Парадокс «малого Солнца» может быть разрешен, только если в тепловом балансе в начале существования нашей планеты учесть тепловой поток из недр. Средний поток тепла из недр Земли в первый миллиард лет был в сотни раз выше современного уровня, а этого уже достаточно, чтобы вместе с Солнцем поддерживать при положительных температурах хотя бы тропическую зону Земли.

9. *Если бы на Солнце вдруг прекратились термоядерные реакции, за какое время оно остыло бы?*

В Солнце запасено колоссальное количество энергии, полный запас тепловой энергии в нем равен 3×10^{41} Дж. Разделив эту энергию на совместимость Солнца, оценим время его теплового охлаждения и получим величину, равную 10 млн. лет. Оказывается, Солнце и без ядерной энергии светило бы целую геологическую эпоху, минимум 10 млн. лет.

Но и это не предел, при остывании Солнце стало бы сжиматься, а это также бы выделило гравитационную энергию. Общий запас гравитационной энергии Солнца примерно равен 4×10^{41} Дж (она превраща-

ется в тепловую энергию, что возможно было бы при сжатии, а сжатие началось бы при остывании).

10. Солнце генерирует просто «море света», а можно ли буквально сравнить солнечную энергию, излучаемую за год, с каким ни будь морем?

В результате термоядерной реакции в ядре Солнца из 4-х протонов (водорода) формируется 1 ядро атома гелия. Атомная масса водорода 1,008, гелия – 4,003, сумма из четырех ядер атомов водорода равна 4,032, куда же делись 0,029, или 0,7% массы. Кажущуюся потерю массы при слиянии атомов водорода в гелий можно объяснить тем, что выделяющаяся в процессе энергия «уносит» эту массу в виде квантов излучения, ведь свет – разновидность материи, столь же фундаментальная субстанция, как вещество.

Каждую секунду Солнце излучает 4×10^{33} эрг световой энергии, что соответствует превращению 600 млн. т водорода в гелий, при этом в излучение превращается 4 млн. т солнечной массы (0,7% потери массы переходит в свет). За сутки в свет превращается 346 млрд. т, а это уже сравнимо по массе с весом Азовского моря (320 млрд. т, или 320 км^3).

За год Солнце «изливает море света», сопоставимое по массе с шестью Балтийскими морями (Балтика – 21500 км^3 , а солнечный свет за год 126144 км^3 в эквиваленте массы воды). За 6 тыс. лет Солнце «выльет» в космос уже целый «океан света», сравнимый по массе с Тихим океаном (707 млн. км^3 , или 52% объема Мирового океана). За 50 млн. лет количество генерированного солнечного света сравнимо с массой Земли. За 4,5 млрд. лет существования Солнца в излучение ушло количество света, сравнимое с массой 90 планет, равных Земле.

Таковы масштабы процесса, которому мы с вами обязаны жизнью. Однако для Солнца эти потери ничтожны, поскольку масса Солнца соответствует 333343 массам Земли и потеря 90 земных масс соразмерна с потерей всего лишь 0,026% веса.

СОЛНЦЕ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

1. Какое количество каменного угля могло бы заменить солнечную энергию, поступающую к земной поверхности, в случае если бы Солнце погасло?

Ежегодно земная поверхность получает $134 \cdot 10^{19}$ ккал. Такое количество теплоты можно получить при сжигании 20 трлн. т каменного

угля, или по 607 тыс. т угля в секунду (по 170 железнодорожных составов угля в секунду, около 10 тыс. вагонов с углем в секунду). Для сравнения, ТЭС мощностью в 2,4 млн. кВт (в 11 раз мощнее Благовещенской ТЭС) ежесекундно сжигает 0,3 т угля в секунду, или дает в 2 млн. раз меньше энергии, чем Солнце, или в 20 млн. раз меньше, чем Благовещенская ТЭС.

2. Солнце – колоссальный источник энергии. Источник этой энергии – термоядерные реакции, протекающие в ядре Солнца при температуре более 15000000 °К, давлении 2000 млрд. атмосфер и плотности около 150 г/см³ (в 13 раз больше, чем у свинца и в 150 раз, чем у воды). При таких условиях ядра атомов водорода, сталкиваясь, образуют ядра атомов гелия. Мощность полного излучения Солнца достигает 4·10²³ кВт. С какой мощностью в среднем излучает 1 кг солнечного вещества?

За 1 час 1 кг солнечного вещества излучает 1,8 кал энергии, а 1 кг человеческого тела – 1,8 ккал, или в 1000 раз больше, чем солнечное вещество. Таким образом, если бы Солнце было заполнено человеческими телами, оно излучало бы в 1000 раз больше энергии, чем на самом деле (однако химические источники энергии при такой светимости истощились бы всего за несколько дней). Эти факты говорят, что в термоядерные реакции ежесекундно вовлекается лишь ничтожная доля солнечного вещества. Поэтому Солнце равномерно (с некоторым увеличением мощности) излучает энергию уже более 4 млрд. лет, и запаса энергии хватит ещё более чем на 5 млрд. лет.

Так, превращение всего лишь 10% массы Солнца (водорода в гелий) в энергию было бы достаточно для поддержания его свечения на современном уровне в течение 10 млрд. лет, что примерно вдвое больше возраста Солнечной системы.

3. Сколько солнечной энергии в среднем задерживается поверхностью Земли, если в околоземном пространстве за год на 1 м² поступает около 10 млн. ккал или столько же, сколько содержится в 1430-1531 кг каменного угля?

Поток энергии, идущий от Солнца, колоссален. Из геофизических измерений следует, что даже в верхних слоях атмосферы Земли, на громадном расстоянии почти в 150 млн. км от Солнца, каждый квадратный метр, расположенный перпендикулярно солнечным лучам, получает от Солнца ежесекундно 1,4 кДж. Эту величину называют *солнечной постоянной*, зная, что 1,4 кДж на 1 м²/с равен 1,4 кВт/м².

На поперечное сечение земного шара (равное $\frac{1}{4}$ площади Земли) на околоземной орбите приходится 1072 ккал/см^2 солнечной энергии в год, но вследствие шарообразности Земли и вращения в среднем каждый 1 м^2 получает на внешней границе атмосферы 268 ккал/см^2 или ***382,8 кг в угольном эквиваленте на 1 м^2 Земли в год.***

За год полюсы получают всего в 2,4 раза меньше солнечной энергии, чем экватор. От средней нормы на внешней границе атмосферы в 268 ккал/см^2 на экватор поступает 321, а на полюс 133 ккал/см^2 .

На параллель 50° с. ш. (широта Благовещенска) поступает $219,6 \text{ ккал/см}^2$, что в 1,46 раза меньше экваториальной нормы и в 1,65 раз больше, чем на полюсах. Из этого количества радиации (в верхней границе атмосферы) в виде суммарной солнечной радиации до поверхности Земли дойдет около $\frac{1}{2}$ части, а в виде прямой солнечной радиации до поверхности Земли дойдет около $\frac{1}{4}$ ее части.

Для юга Амурской области суммарная радиация составит на поверхности около 110 ккал/см^2 , а прямая 54 ккал/см^2 .

В среднем на 1 м^2 Земли поступает 790000 ккал или столько же, как в 112 кг угля, или 8% от величины солнечной постоянной, остальная энергия отражается в космос, поглощается атмосферой, в расчете учитывается уменьшение радиации из-за кривизны Земли и с учетом ночной стороны.

4. Солнце – колоссальный источник энергии, а существуют ли в космосе звезды, излучающие энергии в тысячи раз больше, чем Солнце?

Более мощных, чем Солнце, звезд в обозримой Вселенной достаточно много. Рассмотрим для примера ***Ригель*** – яркую звезду из созвездия Ориона (ранее мы рассматривали пример гигантской звезды Бетельгейзе из этого созвездия). Ригель – бело-голубой сверхгигант. Название по-арабски значит «нога» (имеется в виду нога Ориона). Ригель находится на расстоянии около 700-900 световых лет от Солнца. Температура его поверхности 12130 К , диаметр около 103 млн. км (то есть в 74 раза больше Солнца и в 17 раз массивней его). Его светимость примерно в 130 тыс. раз выше солнечной, а значит, это одна из самых мощных звезд в Галактике (во всяком случае, самая мощная из ярчайших звезд на небе, так как Ригель – ближайшая из звезд с такой огромной светимостью).

С расстояния 1 а. е. Ригель имел бы звездную величину – 38 и представлял огромный круг с угловым диаметром в 35° . Поток излучения звезды на 1 м^2 составляет более 150000 кВт (около 15 кВт/см^2), в

то время как солнечный равен лишь $1,4 \text{ кВт/м}^2$. На каждый квадратный метр поверхности ежесекундно поступало бы энергии столько же как при сжигании 6 кг каменного угля! Любой объект, расположенный на расстоянии, равном 1 а. е., испарится и рассеется сильным звёздным ветром.

Светимость Солнца равна $3,8 \times 10^{33}$ эрг/с, а например, звезды S Золотой Рыбы светят в 400000 раз больше.

Квазары производят примерно в 10 трлн. раз больше энергии в секунду, чем наше Солнце (и в 1 млн. раз больше энергии, чем самая мощная известная звезда). По размерам квазары относительно невелики (до диаметра орбиты Урана, т. е. до 4 млрд. км). С английского слово квазар означает «квазизвездный радиисточник» – класс небесных объектов, которые в оптическом диапазоне похожи на звезду. Благо, что подобные источники энергии удалены от Солнечной системы больше, чем на 2-3 млрд. световых лет.

5. Каковы значения солнечной постоянной (величины солнечной энергии на единицу площади) на ближайших к Земле планетах солнечной системы?

У Земли – 136 мВт/см^2 , у Меркурия – 935, Венеры – 265, Марса – 60, Юпитера – 5 мВт/см^2 . Таким образом, приняв величину солнечной энергии, поступающей к Земле, за «единицу», у Меркурия солнечная постоянная будет равна 6,87, у Венеры – 1,94, у Марса – 0,44, у Юпитера – 0,036.

6. Можно ли качественно сравнить поток солнечной энергии на поверхности Земли с потоком энергии из недр Земли?

В среднем плотность теплового потока из недр Земли приблизительно равна $0,00000019 \text{ Вт/м}^2$. Эта величина в 4000 раз меньше количества тепла, поступающего от Солнца. Фактически эта величина настолько ничтожна, что для процессов на поверхности Земли ею можно пренебречь.

7. Почему Земля из космоса смотрится голубой планетой?

Земля в космосе, как и другие планеты, светит отраженным светом. По цвету, он не совпадает со спектром, Солнца, потому что красные лучи атмосфера Земли и океан поглощают лучше, чем синие. Оттого, в целом, наша планета из космоса выглядит голубой.

8. Каков средний показатель альбедо Земли?

Альbedo (отражательная способность) – это процентное отношение солнечной радиации, отданной земным шаром (вместе с атмосферой) обратно в мировое пространство, к солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы (1,95 кал на 1 см² в минуту). Альbedo Земли в целом составляет около 35%, при этом над экватором около 20-25%, в заполярных районах Арктики и Антарктики по 50-60%.

Альbedo Земли по последним измерениям из космоса равно 28%, а не 35%. Доля отраженной световой энергии называется альbedo от латинского *albus* – «белый». Точность, с которой нам известно альbedo нашей собственной планеты, до последнего времени была невелика. Считалось, что Земля отражает в космос от 30 до 40% падающего на нее света. Измерения со спутников дали значение альbedo, равное 28%.

9. Какие поверхности отличаются наибольшим и наименьшим альbedo?

Альbedo свежевыпавшего снега достигает 90-95% (поэтому осенью после выпадения снега резко холодает, особенно в ясную погоду), а у воды при перпендикулярном падении лучей Солнца альbedo всего 5%.

10. Во сколько раз уменьшается мощность энергопотока с единицы площади Солнца к моменту прихода энергии к Земле?

1 см² на околоземной орбите получает за секунду 0,03 кал, что в 50 млн. раз меньше, чем излучается 1 см² Солнца за то же время (около 1500 ккал в 1 сек с 1 см² или 6 кВт в секунду).

Земная поверхность в среднем получает 790 тыс. ккал/м² в год, тогда как 1 м² солнечной поверхности за год выделяет в 600 млн. раз больше, что эквивалентно энергии, содержащейся примерно в 60 млн. т угля.

Солнце излучает с каждого 1 см² по 6 кВт в секунду или 216 млн. кВт в час с 1 м² (для сравнения мощность Зейской ГЭС равна 1,3 млн. кВт·ч, Бурейской ГЭС – 2,1 млн. кВт·ч).

11. Какие сравнения уместны для оценивания общей энергетической мощности Солнца?

Общую мощность Солнца можно сравнить с ежесекундным взрывом 100000000 млрд. т тротила, или представьте тротиловую шашку со сторонами 1000 на 1000 км и высотой 100 км, или на территории

Амурской области или Германии сложить тротил слоем высотой не менее чем в 200 км и взорвать. Подобная мощность выделяется в Солнце каждую секунду обычного существования.

Запас лучистой энергии огромен 10^{45} эрг. Если бы ничто не сдерживало кванты этого жесткого излучения, они за пару секунд покинули бы Солнце, и эта чудовищная вспышка, несомненно, сожгла бы все живое на поверхности Земли. Это не происходит потому, что излучение буквально «заперто» внутри Солнца. Огромная толща вещества Солнца случит надежным «буфером». Запаса тепловой энергии Солнца 4×10^{48} эрг при наблюдаемой мощности солнечного излучения 4×10^{33} эрг/сек хватает на 10^{15} секунд, или на 30 млн. лет.

12. Какая часть солнечной энергии примерно достается Земле?

Земле достается от Солнца ничтожная часть вырабатываемой звездой энергии – $1/2200000000$ (одна двухмиллиард-двухсотмиллионная часть), остальная энергия рассеивается в космосе.

А.Б. Северный дает такое интересное сопоставление огромной энергии, излучаемой Солнцем: «Ежесекундно теряемой Солнцем лучистой энергии достаточно, чтобы в течение часа растопить и довести до кипения 2,5 биллиона км³ льда, т.е. растопить слой льда вокруг Земли толщиной более 1000 км».

С каждого 1 см² Солнца ежесекундно излучается 6 кВт энергии, что эквивалентно сжиганию 0,6-1 кг угля в сек.

13. За какое время зародившаяся в недрах Солнца энергия достигает земной поверхности и согреет нас?

Солнечная энергия достигает поверхности Земли всего за 8 минут (скорость света 300 тыс. км/с). Однако от центра Солнца, где эта энергия зародилась в термоядерных реакциях, до поверхности звезды энергия «добирается» за время от 40 тыс. до 250 тыс. лет. Таким образом, энергия Солнца, обогревающая нас на пляже, зародилась в доледниковый период, до появления человека современного типа.

14. Меняется ли интенсивность солнечной радиации в течение года?

Земля в целом получает за единицу времени энергию, которая равна произведению солнечной постоянной ($F=2\text{кал/см}^2$) в минуту на площадь поперечного сечения Земли, и равна $1,8 \times 10^{24}$ эрг/сек. В течение года величина потока солнечной радиации немного меняется из-за изменения расстояния между Землей и Солнцем.

В начале января (в разгар зимы), когда Земля находится в самой близкой к Солнцу точке (перигелии), поток радиации увеличивается на 3,4% от средней нормы, а в начале июля, когда Земля наиболее удалена от Солнца (афелий), уменьшается на 3,4%.

15. *Всю ли солнечную энергию мы можем увидеть человеческим зрением?*

Видимый солнечный свет это далеко не весь спектр солнечной радиации, которую мы можем увидеть. На оптический (видимый) диапазон солнечного электромагнитного спектра с длиной волны 380-760 нм (0,00038-0,00076 мм) приходится 48% энергии. Именно к оптическому диапазону приурочен максимум излучения, соответствующий сине-зеленому интервалу световой гаммы излучения.

Остальные 45% энергии солнечной радиации, содержащейся в основном в инфракрасном излучении, в волнах длиннее 760 нм. На всю коротковолновую часть спектра – от длины волны менее 0,1 нм (гамма-лучи), 0,1-65 нм (рентгеновские), 76-380 нм (ультрафиолетовые) – приходится только 7% энергии солнечной радиации. Таким образом, человеческим зрением можно увидеть только около половины солнечного излучения, а кожей мы можем ощутить его вторую половину – тепловое инфракрасное излучение, а загаром – ультрафиолет.

16. *Почему среди значительного по длине волн спектра излучения Солнца человек видит только видимые лучи или менее половины всего излучения?*

Спектр солнечных лучей весьма широк: он простирается от радиоволн до рентгеновских лучей, от бесконечно больших, до бесконечности малых. Наиболее коротковолновые лучи – рентгеновские и почти все ультрафиолетовые – не достигают поверхности Земли. Из оставшегося диапазона солнечного спектра наши глаза способны уловить и воспринять лишь сравнительно узкий участок – от 400 нм до 800 нм. Чем же обусловлен такой выбор?

Лучи Солнца с длиной короче 290 нм задерживаются слоем озона в атмосфере и практически не достигают поверхности Земли. Естественно, что существование глаза, приспособленного к восприятию более коротких лучей, было бы биологически бессмысленно. Более того, ультрафиолетовые лучи способны убивать живые клетки, в том числе и сетчатку глаза. Благо, хрусталик глаза играет роль светофильтра и не допускает ультрафиолетовые лучи до сетчатки, защищая зрение. Та-

ким образом, граница видимости лучей со стороны коротких волн биологически вполне оправдана.

Перейдем к другой границе видимости солнечного света, со стороны длинных волн. Здесь за пределами видимого света (760 нм) лежат так называемые инфракрасные лучи, излучаемые нагретыми телами. При температуре тела человека максимум излучения лежит в области 9-10 мкм; с 1 см² поверхности тела, в том числе и с внутренней поверхности глаза, излучается примерно 12 кал/сек, т.е. больше, чем попадает в глаз на прямом солнечном свете. Если бы эти лучи воспринимались сетчаткой, то «глаз внутри засветился бы миллионами свечей. По сравнению с этим внутренним светом потухло бы Солнце и все окружающее. Человек видел бы только внутренность своего глаза и ничего больше, а это равносильно слепоте».

Таким образом, и лучи, лежащие на длинноволновой границе видимого света, не могли бы в случае их восприятия глазом существенно изменить наши представления о мире. Следовательно, пределы спектральной чувствительности глаза закономерны. Инфракрасное зрение есть лишь у некоторых хладнокровных животных, у которых внутреннее излучение не мешает работать термодатчикам (как у гремучих змей).

17. Почему белый солнечный свет, проходя сквозь чистое небо, окрашивает его в голубой цвет?

Частицы воздуха, поглощая электромагнитные волны, сами становятся источником излучения света и излучают те же волны, которые на них падают. Чем меньше размер частиц, тем сильнее рассеиваются коротковолновые лучи. Молекулы воздуха очень малы, но размерами сопоставимы с длиной волн голубой части спектра. Так, длина волны красного цвета, видимого нами, равна 760 миллимикрон (микрон = 1/1000 миллиметра, а миллимикрон равен 1/1000 части микрона), а длина волны синего цвета равна 410 миллимикрон. Синий цвет рассеивается мелкими частицами – молекулами воздуха почти в 6,5 раз сильнее красного, а фиолетовый в 8,5 раз сильнее.

Молекулы воздуха очень малы, поэтому лучи света, встретив их на своем пути, рассеивают сильнее всего именно синие, голубые и фиолетовые лучи. Эти-то лучи, попадая в наш глаз, и производят впечатлительные голубого и синего цвета. Чем чище воздух, тем синева неба ярче и глубже. В чистом воздухе преобладает молекулярное рассеивание, следовательно, цвет неба – голубой.

При наличии достаточно крупных частиц (капелек воды, снежинок, пыли, песчинок, дыма) закон цветного рассеяния не срабатывает, и рассеивание лучей с различной длиной волны – равномерное и приближается к отражению. Лучи света, встречая крупные частицы, рассеиваются приблизительно одинаково, поэтому при запылённом воздухе цвет неба становится белёсым (как в облаке, в дыме или при метели).

При большом содержании пара, рассеивающего красные лучи, небо приобретает красноватый оттенок. Когда Солнце у горизонта, его лучи проходят через атмосферу очень большой путь. Если взять тот путь, который проходят лучи Солнца, когда оно стоит в зените, за единицу, то у горизонта при высоте 5° они проходят 35 таких единиц или, как говорят, «масс». При этом голубые и синие лучи поглощаются и рассеиваются так сильно, что уже не достигают глаза наблюдателя, а доходят до него лишь более длинноволновые лучи – желтые, оранжевые и красные. Поэтому и заходящее, и восходящее Солнце кажется красным.

СОЛНЦЕ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ

1. Как с греческого переводится «климат»?

Буквальный перевод с греческого языка слова «климат» означает «*наклон*», под которым подразумевается наклон солнечных лучей к земной поверхности.

Действительно, если принять поступление солнечной энергии на единицу площади в полдень при отвесном падении лучей, как на экваторе в дни равноденствий за 100%, то на 60 параллели (например, в Санкт-Петербурге или Якутске) в это время угол падения лучей будет равен 30° , и энергии поступит 50%, или в 2 раза меньше, чем на экваторе, а на широте 75° угол падения полуденных лучей будет равен 15° , поступление энергии будет равно 25%, или в 4 раза меньше экваториального уровня. В Благовещенске в это же полуденное время энергии поступит 67% от экваториального уровня. Греки, таким образом, первые обнаружили, что в сущности тип климата и времена года определяются изменением высоты Солнца над горизонтом.

Чтобы узнать, во сколько раз солнечной энергии поступит меньше, чем на экваторе, достаточно умножить значение \sin высоты полуденного Солнца на 90° . Например, $\sin 30^\circ = 0,5 \times 90^\circ = 45^\circ$, где 45 в 2 раза меньше 90, значит, и поступление радиации при высоте Солнца в 30° в 2 раза меньше, чем при 90° .

2. Как в течение года меняется высота полуденного Солнца над горизонтом в умеренных широтах и в Благовещенске, в частности?

Для расчета высоты полуденного Солнца над горизонтом в дни равноденствий используется несложная формула: $90^\circ - (\text{минус})$ широта местности (для Благовещенска 50° с. ш.), следовательно, $90 - 50 = 40^\circ$. Таким образом, на юге Амурской области 21 марта и 23 сентября высота полуденного Солнца равна 40° .

Для того, чтобы узнать высоту полуденного Солнца в дни солнцестояний, необходимо от 40° отнять или прибавить угол наклона плоскости экватора к плоскости орбиты Земли т. е. $23,5^\circ$;

$40^\circ + 23,5^\circ = 63,5^\circ$ высота Солнца в день летнего солнцестояния 22 июня;

$40^\circ - 23,5^\circ = 16,5^\circ$ высота Солнца 22 декабря в день зимнего солнцестояния.

3. Почему происходит смена времен года?

Земная ось вращения отклонена относительно оси орбиты (или прямой, расположенной перпендикулярно к плоскости орбиты) на $23,5^\circ$. Именно присутствие этого угла объясняет смену времен года. Если бы наклон земной оси отсутствовал, то на Земле смены времен года никогда бы не происходило. Периодическая смена времен года является результатом движения Земли по орбите вокруг Солнца и наклона земной оси к плоскости орбиты.

С 21 марта по 23 сентября Земля находится в таком положении относительно Солнца, что Северное полушарие освещается больше и получает большее количество тепла. В это время земная ось наклонена северным концом к Солнцу, и в Северном полушарии – лето. 22 июня – в день летнего солнцестояния – Солнце стоит в зените над Северным тропиком.

В Южном полушарии с мая по август – зима, потому что южный конец земной оси отклонён от Солнца. Южное полушарие как будто отвернулось от светила и поэтому получает меньше тепла и света. За Южным полярным кругом в это время стоит полярная ночь.

Земля постоянно движется по своей орбите вокруг Солнца. 23 сентября, в день осеннего равноденствия, Солнце стоит в зените над экватором, в Северном полушарии в это время – осень, а в Южном – весна. Оба полушария освещены равномерно, и к ним поступает одинаковое количество тепла.

К декабрю Земля оказывается с другой стороны от Солнца – на противоположной стороне своей орбиты. Теперь полушария словно меняются местами: южный конец земной оси обращен к Солнцу, и в Южном полушарии – лето. 22 декабря, в день зимнего солнцестояния, Солнце стоит в зените над Южным тропиком.

В день весеннего равноденствия – 20-21 марта – Солнце снова стоит в зените над экватором, день равен ночи, и полушария равномерно освещаются и нагреваются. Затем дни в Северном полушарии начинают удлиняться, а в Южном становятся короче.

В Благовещенске на параллели 50° с.ш. день 22 декабря длится всего 8 часов, а в полдень солнечные лучи падают всего под углом $16,5^\circ$, давая за день 1810 ккал/м². Летом 22 июня день длится уже 16 часов, полуденное Солнце находится на высоте $63,5^\circ$, и энергии поступает соответственно 10200 ккал/м², или в 5,6 раза больше, чем в декабре.

4. На широте 50° с.ш., т.е. широте г. Благовещенска, может ли поступать солнечной энергии больше, чем на экваторе?

С начала мая и по 10 августа на 50° с.ш. поступает солнечной энергии больше, чем на экваторе, т.е. более 850 ккал/см². 22 июня за сутки поступает (вне атмосферы) 1020 ккал/см², а на экваторе 814 ккал/см², или в 1,25 раза больше, чем на экваторе, а 22 декабря на 50° с.ш. поступает за сутки 181 ккал/см², тогда как на экваторе 869 ккал/см², или в 4,8 раза меньше экваториальной нормы.

Таким образом, около 100 дней в году Благовещенск получает солнечной энергии больше, чем экватор, и в день летнего солнцестояния на Благовещенск поступает в 5,6 раза больше солнечной энергии, чем в день зимнего солнцестояния.

5. В какие месяцы отмечается самое значительное изменение высоты полуденного Солнца?

Наиболее интенсивно высота полуденного Солнца изменяется весной и осенью, с кульминацией этого изменения в дни равноденствия. Так, с 22 августа по 23 октября, за 2 месяца, полуденное Солнце опускается на 24° , а с 22 февраля по 22 апреля на столько же поднимается. Наименьшее изменение высоты Солнца отмечено зимой и летом. Так, с 22 ноября по 22 января Солнце до 22 декабря убывает на 3° , а после 22 декабря возрастает на 3° , аналогичные изменения происходят с 22 мая по 22 июля ($\pm 3^\circ$).

6. Где на Земле отмечается поступление наибольших суточных и месячных доз солнечной радиации к поверхности?

Инсоляция в глубине Антарктиды достигает 25-30 ккал/см² в месяц, а в отдельные ясные дни декабря превышает 1 ккал/см². Подобные месячные и суточные суммы поступления солнечной радиации нигде на земном шаре больше не наблюдаются (для сравнения: в Сахаре в июне поступает до 22 ккал/см², на экваторе 10 ккал/см²). Однако это преимущество в инсоляции сводится на нет высоким альбедо (отражением) Антарктиды – до 85-90% поступившей к поверхности радиации.

7. На сколько часов или во сколько раз отличается продолжительность светового дня 22 июня на экваторе и северном полярном круге?

На экваторе световой день в любое время года равен 12 часам, а на полярном круге в это время полярный день – 24 часа, и Солнце не заходит за горизонт в течение полных суток, однако 22 декабря 24 часа Солнце вообще не появится над горизонтом.

8. Где на Земле в течение 24 часов длина тени практически не меняется?

На полюсах в любые 24 часа полярного дня высота Солнца над горизонтом практически не меняется. Солнце движется вокруг полюса над горизонтом, делая за 24 часа полный круг.

9. Когда линия терминатора (светораздельная линия) пересекает сразу оба полюса, т. е. когда день и ночь равны на всей Земле?

В дни равноденствий 21 марта и 23 сентября. В эти дни Солнце освещает всю поверхность земного шара, и хотя бы край солнечного диска можно увидеть сразу на обоих полюсах. В этот день везде, кроме полюсов, Солнце всходит точно на востоке и садится на западе. Кстати, 23 марта (почти в день весеннего равноденствия) отмечается всемирный день метеоролога.

10. Что дольше в течение года облучается Солнцем, полюса или экватор?

Полюса облучаются Солнцем на 65 часов в год больше, чем экватор, благодаря рефракции, т. е. преломлению лучей света в воздухе.

11. *Северный и Южный полюсы получают почти одинаковое количество солнечной радиации, однако среднегодовая температура у них разная. Какой полюс холодней и на сколько градусов?*

Южный полюс получает на 7% солнечной энергии больше (так как в январе Земля к Солнцу ближе, чем в июле, почти на 4 млн. км), но холодней, так как находится на высоте 2765 м и вдали от обогревающего влияния океана. Среднегодовая температура на Северном полюсе - 19°C, а на Южном -49,3°C, таким образом, разница достигает 30°.

12. *За день летнего солнцестояния на экватор поступает 8140 ккал/м², а сколько за этот день поступает солнечной энергии на Северный и Южный полюсы, на сколько больше или меньше, чем на экваторе?*

На Южном полюсе 22 июня солнечная энергия не поступает вообще, а на Северный полюс - 11100 ккал/м², или в 1,36 раза больше, чем на экваторе (на верхней границе атмосферы).

13. *Земная ось наклонена к плоскости эклиптики на 66,5°. Каким образом могло бы повлиять на климат уменьшение этого угла на 1°?*

На севере (80° с. ш.) величина солнечной радиации увеличится на 4,02%, а на экваторе приток радиации уменьшится на 0,35%.

14. *Где на Земле отмечено наибольшее количество солнечных часов за год (4300, или 97% возможных)?*

В Восточной Сахаре 4300 часов солнечного сияния, или 97% от возможных, в Мадриде - 2900 ч., Благовещенске - 2300-2400, Москве - 1600, Шотландии, Белом море около 1000 ч. Таким образом, Солнце в Сахаре в среднем можно видеть ежедневно по 11,8 часа, Благовещенске - по 6,4 часа, Москве - по 4,4, над Белым морем - по 2,7 часа. В Благовещенске максимальное солнечное сияние в июле, марте, июне - по 8,3-8,4 часа в день и минимальное в декабре - по 4,3 часа.

15. *На какой широте отмечается нулевой радиационный баланс?*

Смена дефицита и избытка в годовом радиационном балансе происходит примерно на 37° северной и южной широты. Если бы адвекции (перенос) тепла не существовало, то температуры в экваториальном поясе возросли бы на 10°C, в то время как в полярных широтах они уменьшились бы более чем на 20°C по сравнению с реальными температурами на экваторе и на полюсах.

16. Сколько солнечной энергии приходится в среднем за год на каждый квадратный метр земной поверхности?

В пересчете на уголь свыше 400 кг, в условиях Амурской области – 157 кг (или 1250 кВт).

17. Каким образом отличается радиационный баланс южного полушария от северного из-за льдов Антарктиды?

Из-за высокого альbedo поверхности Антарктиды, отражающей в среднем 83-85% солнечной радиации, интенсивного длинноволнового излучения и потерь тепла, идущих на компенсацию отрицательного радиационного баланса на поверхности ледника, создают в Антарктике, в южном полушарии, дополнительный расход, равный $25 \cdot 10^{19}$ ккал/год, что на 20% превосходит тепловой расход северного полушария.

Этот дополнительный сток тепла, этот своеобразный холодильник равен ежедневной дополнительной потере энергии, эквивалентной 10 млрд. т каменного угля, или 110-120 тыс. т угля в секунду (35 железнодорожных составов с углем в секунду, или 2000 вагонов по 60 т в каждом с углем в секунду) по сравнению с северным полушарием. Этим объясняется и более низкая температура вод и атмосферы южного полушария.

Если средняя годовая температура атмосферы у поверхности Земли в северном полушарии равна $+15,2$ °С, то эта же характеристика в южном полушарии равна $+13,3$ °С, или почти на 2° холоднее.

18. В каком слое морской воды поглощается 99% солнечной энергии?

В 1 см. Так, на глубине 1 см тепловой эффект лучистой энергии Солнца убывает почти в 100 раз по сравнению с поверхностью, а на глубине 1 м – в 8350 раз.

19. Если бы земная поверхность была однородна, а атмосфера и гидросфера неподвижны, какова была бы среднегодовая (солярная) температура на экваторе, на 50° с. ш. и на полюсе?

На экваторе $+39$ °С, на 50° с. ш. -6 °С, а на полюсе -44 °С, однако из-за переноса тепла от экватора к полюсам течениями и ветрами реальная температура на экваторе $+26,7$ °С, на 50° с. ш. $+5,4$ °С, на Северном полюсе -19 °С.

20. На Земле вдоль экватора температура вечером перед заходом Солнца около +28- +26 °С, а утром перед восходом Солнца +20°- +24 °С. Какая температура вечером и утром у соседки Земли – Луны, получающей столько же солнечной радиации, что и Земля?

Если быть точным, то Луна получает солнечной энергии даже больше, чем Земля, поскольку на Луне нет облаков, ледников и снежников с высоким альбедо. На лунном экваторе перед заходом Солнца температура поверхности падает до -50 °С, а перед восходом Солнца опускается до -180 °С (до -200), в полуденные часы достигает +110 °С (до +150). Таким образом, в экваториальной зоне положительные температуры поверхности Луны держатся в течение 174, а отрицательные -484 часов, т.е. 73% времени лунных суток.

Столь суровый и контрастный климат Луны (средняя температура -23 °С или на 38° холоднее, чем на Земле) объясняется отсутствием на ней гидросферы и атмосферы, которые накапливают солнечную энергию и благодаря парниковому эффекту удерживают. Немаловажен и тот факт, что день и ночь на Луне длятся по 14 земных суток.

21. Как изменится температура атмосферы Земли при уменьшении или увеличении светимости Солнца на 1%?

Изменение притока солнечной радиации на 1% повышает или понижает температуру нижнего слоя атмосферы приблизительно на 1,5°С.

СОЛНЦЕ И ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

1. Как влияет увеличение солнечной активности на самочувствие и здоровье человека?

В периоды высокой солнечной активности (за меру активности Солнца принималась величина потока его излучения в радиодиапазоне) число вызовов «скорой помощи» было самым высоким. Кроме того, в эти дни (т. е. в дни солнечных бурь) число летальных исходов по сравнению со среднедекадной величиной возрастает в 2 раза.

Медицинские данные «Скорой помощи» Екатеринбурга подтвердили тот факт, что ухудшение состояния здоровья больных в результате геомагнитных бурь наибольшее в весеннее равноденствие. Так, по этим данным было установлено, что в марте удельный вес больных с наиболее тяжелыми вариантами течения заболеваний достигает максимума.

После хромосферной вспышки на Солнце смертность от сердечно-сосудистых заболеваний увеличивается на 10-20%. Таким образом, каждая геомагнитная буря, вызванная солнечной вспышкой, уносит в целом во всем мире не менее 1-2 тыс. жизней. Изменение электромагнитного поля высвобождает из клеточных мембран фосфолипиды, которые, попадая в кровь, увеличивают ее способность к свертыванию и образованию тромбов.

2. В каких широтах проходит зона ультрафиолетового комфорта?

Если Солнце поднимается не выше 6-8° над горизонтом, ультрафиолетовые лучи не достигают поверхности земли. Это положение биоклиматологи называют «ультрафиолетовая полярная ночь» или еще более выразительно – «период биологической тьмы». При высоте Солнца до 12-15° (в Благовещенске в декабре в полдень 17°) Земли достигают только рассеянные УФЛ – это период «биологических сумерек». Биологические тьма и сумерки объединяются в понятие «период ультрафиолетового дефицита». Районы, где он длится 4-6 и более месяцев в году, входят в зону ультрафиолетовой недостаточности.

Южная граница этой неблагоприятной области проходит по 57,5° («ультрафиолетовый полярный круг»). Районы, расположенные между 42,5 и 57,5°, входят в зону ультрафиолетового комфорта (Амурская область простирается от 49 до 57° с. ш. и южной частью как раз находится в оптимальном поясе), а более южные – в зону ультрафиолетовой избыточности.

Медики считают, что необходимо получить за год не менее 45 «порций Солнца», т. е. эритемных доз УФЛ. Одна эритемная доза равна на юге Амурской области **в июньский безоблачный полдень 15-20 минутам**, в Крыму – 12-14 мин. Оптимально было бы распределить эти дозы по 3 минуты ежедневного загораения (в условиях июньской полуденной инсоляции) в течение года. УФЛ хорошо проходят через водяной пар, поэтому загорасть можно даже при сплошной облачности, только время пребывания на воздухе в июньский полдень вместо 15-20 минут необходимо продлить до 1-1,5 часа.

Длительное солнечное голодание ухудшает память и сон, усиливается возбудимость у одних и заторможенность у других. С ухудшением кальциевого обмена при длительном солнечном голодании снижаются умственные способности и работоспособность, очень быстро наступают утомление и раздражение. Уменьшается подвижность, ухудшаются возможности борьбы с попадающими в организм микро-

бами. Человек, испытывающий солнечное голодание, чаще заболевает гриппом, насморком и другими инфекционными болезнями, и болезнь у него обычно носит затяжной характер. В этих же случаях медленно и плохо заживают переломы, порезы и любые ранения, ухудшается течение хронических заболеваний у тех, кто их уже имеет.

В то же время **избыток солнечного излучения** может провоцировать **рак кожи**, что наблюдается в жарких тропических странах, особенно у «белых» поселенцев. Так, рак кожи на Гавайских островах среди белых встречается в 42 раза чаще, чем у коренного населения. В Австралии ему больше подвержены ирландцы и шотландцы, затем немцы и скандинавы, меньше англичане и славяне, и исключительно редко китайцы и аборигены. Другими словами, жители приполярных холодных стран, где УФЛ всегда в дефиците (потому кожа северян светлая), не имеют в организме защитных механизмов от избытка солнца. Во всяком случае, люди со светлой кожей (типичные «северяне», в коже которых мало пигмента меланина – «защитника» от УФЛ) быстрее «сгорают» на пляже, чем люди со смуглой кожей.

В северных странах – Норвегии, Швеции, Дании, Голландии, Канаде, Великобритании – смертность от рака кожи в 1930-1950 гг. была на уровне 1-5 случаев на 100 тыс. населения, а, например, в Австралии, Мексике или Колумбии до 30-50 и более случаев (в Амурской области 10-30 случаев на 100 тыс. чел.). Таким образом, избыток Солнца просто смертельно опасен, особенно для людей со светлой кожей [Чаклин, 1977].

3. Чем опасны для человека появление озоновых дыр в атмосфере и избыток «загара» на ярком Солнце?

Снижение уровня озона на 1-2% (процесс снижения концентрации озона ученые связывают с увеличением выбросов в атмосферу фреонов – хладогенов, полетами космических аппаратов и самолетов в стратосфере) повышает уровень заболеваний меланомой (**рак кожи**), а это приводит к росту смертности на 0,8-1,5%.

Увеличение ультрафиолетового облучения неизбежно увеличит число **иммунных повреждений, катаракт глаз, дерматитов, гипертоний, неврозов**. Ослабление иммунитета может провоцировать рост заболеваемости корью, ветряной оспой, малярией и лейшманиозами, туберкулезом и грибковыми заболеваниями. Не рекомендуется загорать летом в полуденные часы с 11 до 15 часов, когда интенсивность ультрафиолетового излучения опасно велика.

Расчеты показывают, что в случае 25% разрушения стратосферного озона следует ожидать 35% снижения первичной продукции фитопланктона в поверхностных слоях океана и 10% снижения во всем слое активного фотосинтеза. Фитопланктон утилизирует более половины углекислого газа в процессе глобального фотосинтеза, и лишь 10% снижения интенсивности этого процесса эквивалентно удвоению выброса CO_2 в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива, что может увеличить интенсивность глобального потепления.

Ультрафиолетовое излучение способно непосредственно поражать икру и мальков рыб, личинок креветок, устриц, крабов и других животных. В результате уменьшения количества озона будут снижаться уловы рыбы и морепродуктов.

У высших растений в условиях 10-20% разрушения озонового слоя наблюдается торможение роста и уменьшение продуктивности. Потери урожая могут достигать 90% у огурцов и дынь, 25-30% у гороха или сои и 5% у риса, кукурузы, хлопчатника и подсолнечника.

Ослабление озонового экрана снизит плодородие почв. Ультрафиолетовое излучение убивает азотофиксирующие бактерии, живущие в самих верхних слоях почвы и воде рисовых полей, ежегодно поглощающие из воздуха до 35 млн. т азота (искусственных азотных удобрений производится химической промышленностью около 35-40 млн. т в пересчете на азот).

Уменьшение содержания озона может привести к массовым заболеваниям **психическими расстройствами**, что связано с увеличением интенсивности электромагнитных бурь на Земле. Так, у космонавтов и летчиков, попавших в зону электромагнитных бурь, отмечали состояние, близкое к трансу, сопровождаемое потерей ориентации в пространстве. После того как пилотов стали снабжать карманными генераторами электромагнитных волн с частотой 9 Гц, близкой к природной (10 Гц), кризисные ситуации у пилотов исчезли. Экспериментально установлено, что при воздействии инородных электромагнитных колебаний на человека мозг мобилизует все силы на отражение волновой атаки. Тогда заботы нервной системы о регуляции физиологических процессов оказываются в тени, так как на них у организма не остается сил. При внешних воздействиях волн порядка 30 Гц человек впадает в депрессию, проявляет нервозность, беспокойство, у него появляются судороги, как у больных эпилепсией. Подобная опасность подстерегает летчиков, вылетающих на самолетах выше озонового слоя в период электромагнитных бурь.

ГЕОСФЕРНЫЕ ОБОЛОЧКИ: ОБЩИЙ ПЛАНЕТАРНЫЙ ОБЗОР

1. *Какая оболочка Земли стала предметом изучения географии и в которой взаимно переплетаются внутренние силы Земли и космическое пространство?*

Такой универсальной оболочкой стала географическая оболочка, эпигеосфера, или геOVERCUM.

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА – в географической науке под этим понимается целостная и непрерывная оболочка Земли, где её составные части: верхняя часть литосферы (земная кора), нижняя часть атмосферы (тропосфера, стратосфера), гидросфера и биосфера), а также антропосфера проникают друг в друга и находятся в тесном взаимодействии. Между ними происходит непрерывный обмен веществом и энергией. Верхнюю границу географической оболочки проводят по стратопаузе, так как до этого рубежа сказывается тепловое воздействие земной поверхности на атмосферные процессы; границу географической оболочки в литосфере часто совмещают с нижним пределом области гипергенеза (иногда за нижнюю границу географической оболочки принимают подножие стратисферы, среднюю глубину сейсмических или вулканических очагов, подошву земной коры, уровень нулевых годовых амплитуд температуры). Географическая оболочка полностью охватывает гидросферу, опускаясь в океане на 10-11 км ниже уровня моря, верхнюю зону земной коры и нижнюю часть атмосферы (слой мощностью 25-30 км). Наибольшая толщина географической оболочки близка к 40 км. Географическая оболочка является объектом исследования географии и её отраслевых наук.

АТМОСФЕРА

1. *Какие геосферы выделяют в составе атмосферы?*

АТМОСФЕРА – (от др.-греч. ἀτμός – пар и σφαῖρα – шар) – газовая оболочка (геосфера), окружающая планету Земля. Внутренняя её поверхность покрывает гидросферу и частично земную кору, внешняя граничит с околоземной частью космического пространства. Также существует определение атмосферы как внешней геологической газовой оболочки Земли.

АЭРОСФЕРА – это атмосфера с верхней частью литосферы, где встречается почвенный и грунтовый воздух.

ГЕЛИОСФЕРА – слой атмосферы на высоте 300-1000 км с преобладанием ионов гелия, занесенных солнечным ветром.

ГЕТЕРОСФЕРА – слой атмосферы с высоты 120 км и выше или «сфера с разным составом воздуха». В гетеросфере, в частности на высоте 300-1000 км, выделяют **гелиосферу**, где преобладает в составе гелий, занесенный солнечным ветром. С высоты 1000 и до 60000 км выделяют **протоносферу**, состоящую из протонов – ядер атомов водорода, также занесенных солнечным ветром.

ГОМОСФЕРА – слой атмосферы до высоты 120 км или «сфера с однородным составом воздуха», в котором процентный состав воздуха остается неизменным.

ИЗОСФЕРА – сфера равной температуры на высоте 15-30 км с температурой -60°C в стратосфере.

ИОНОСФЕРА (от ионы и греч. σφαῖρα – шар) – ионизированная часть верхней атмосферы; расположена выше 50 км. Верхней границей И. является внешняя часть магнитосферы Земли.

МЕЗОСФЕРА (от греч. μέσo- – «средний» и σφαῖρα – «шар», «сфера») – слой атмосферы на высотах от 40-50 до 80-90 км. Характеризуется повышением температуры с высотой; максимум (порядка $+50^{\circ}\text{C}$) температуры расположен на высоте около 60 км, после чего температура начинает убывать до -70° или -80°C .

МИКРОСФЕРА – самый нижний горизонт атмосферы, до 1,5-2 м над земной поверхностью, её называют сферой микроклимата или микросферой, а иногда также приземным слоем.

ОЗОНОСФЕРА – слой в пределах стратосферы на высоте 10-50 км, отличающийся повышенной концентрацией озона. Максимальная концентрация атмосферного озона достигается на высоте 20-25 км (в озоновом слое), где плотность озона в 10 раз больше его плотности у земной поверхности.

ПРОТОНОСФЕРА – слой атмосферы на высотах от 1000 до 6000 км с доминированием протонов водорода, занесенных солнечным ветром.

СТРАТОСФЕРА (с греч. слоистая сфера) – слой атмосферы, располагающийся на высоте от 11 до 50 км. Характерно незначительное изменение температуры в слое 11-25 км (нижний слой стратосферы) и повышение её в слое 25-40 км от $-56,5$ до $0,8^{\circ}\text{C}$.

ТЕРМОСТАТОСФЕРА – сфера постоянства климата Земли в приземном слое воздуха.

ТЕРМОСФЕРА (от греч. θερμός – «тёплый» и σφαῖρα – «шар», «сфера») – слой атмосферы, следующий за мезосферой, – начинается

на высоте 80-90 км и простирается до 800 км. Температура воздуха в термосфере колеблется на разных уровнях, быстро и разрывно возрастает и может варьировать от 200 К до 2000 К, в зависимости от степени солнечной активности. Причиной является поглощение ультрафиолетового излучения Солнца на высотах 150-300 км, обусловленное ионизацией атмосферного кислорода.

ТРОПОСФЕРА (др.-греч. τροπή – «поворот», «изменение» и σφαῖρα – «шар») – нижний слой атмосферы до высоты 10-18 км. Нижний, основной слой атмосферы содержит более 80% всей массы атмосферного воздуха и около 90 % всего имеющегося в атмосфере водяного пара. В тропосфере сильно развиты турбулентность и конвекция, возникают облака, развиваются циклоны и антициклоны. Температура убывает с ростом высоты со средним вертикальным градиентом $0,65^\circ/100 \text{ м}$.

ЭКЗОСФЕРА (от др.-греч. ἔξω – «снаружи», «вне» и σφαῖρα – «шар», «сфера») – самая внешняя часть верхней атмосферы Земли (выше 700 км) и планет с низкой концентрацией нейтральных атомов. Частицы экзосферы движутся по баллистическим траекториям, поэтому при наличии у них второй космической скорости достаточно высока вероятность покинуть планету без столкновений. Протяжённую экзосферу планеты часто называют короной; она состоит из атомов водорода, «улетучивающихся» из верхней атмосферы. Геокорона распространяется вплоть до высот порядка 100 тыс. км.

2. Если всю атмосферу охладить до жидкости с плотностью, как у воды, какой толщины будет слой жидкого воздуха?

Слой сжиженной атмосферы был бы мощностью около 10 м.

3. Если на уровне моря 1 м^3 воздуха весит 1293 г, то сколько весит такой же объем на высоте 40 км?

Всего около 4 г, или в 323 раз меньше.

4. В тридцатикилометровом слое атмосферы сосредоточено 99% всей массы атмосферы. Какая мощность этого слоя атмосферы была бы на глобусе диаметром 40 см?

Около 1 мм, тогда как Мировой океан со средней глубиной в 3,7 км был бы толщиной в 0,1 мм. Если земной шар свести к шару диаметром в 10 м, то в этом масштабе толщина атмосферы в 30 км будет около 25 мм, толщина Мирового океана около 3 мм (воды океанов состав-

вят объем в 225 л, полярных льдов – 5 л, поверхностных вод суши – около 0,5 л).

5. На верхней границе тропосферы на высоте 8-18 км температура достигает -55 - -75°C , после чего начинает возрастать. Благодаря какому веществу температура в стратосфере возрастает?

В стратосфере отмечается рост температуры, который объясняется поглощением солнечной радиации озоном. До высоты 35 км рост происходит очень медленно, а затем ускоряется, и на верхней границе (50-55 км) температура достигает среднегодового значения 0°C с отклонениями $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

6. Меняется ли газовый состав атмосферы с высотой?

Более лёгкие молекулы поднимаются вверх, поэтому на высотах между 100 и 1000 км над поверхностью Земли атмосфера состоит из атомарного кислорода; между 1000 и 2400 км располагается слой гелия, а выше 2400 км преобладает водород. Однако $\frac{1}{4}$ массы атмосферы сконцентрированы в пределах нижних 10 км, и в этой части атмосферы не наблюдается колебаний в процентном составе её основных компонентов, а именно азота (78%), кислорода (21%) и аргона (1%).

7. В каких частях атмосферы наблюдаются наибольшие колебания температуры и плотности воздуха?

На высоте 300 км плотность воздуха ото дня к ночи может изменяться в 3-4 раза, а на высоте 600 км – даже в 10 раз! На высотах более 150 км, в термосфере, температура воздуха днём может достигать 1500-2000 К, а ночью она может быть в два раза ниже, «всего» 700-1000 К.

8. Почему в термосфере и экзосфере на высотах 400-1000 км при огромной температуре около $+1000^{\circ}\text{C}$ могут летать космические корабли и космонавты не варятся «вкрутую», а металл спутников не раскален до красна (сталь при такой температуре была бы желто-красной)?

Давление воздуха на этих высотах очень мало и весьма близко к уровню вакуума, а плотность воздуха на этих высотах в сотни миллиардов раз ниже, чем у поверхности Земли. Космическим кораблям такая атмосфера оказывает очень малое сопротивление, позволяющее им годами оставаться на орбите. В столь разреженной атмосфере контак-

ты корабля с молекулами газа и молекул между собой столь редки, что никак не влияют на температуру спутников Земли.

9. *На какой высоте оканчивается атмосфера Земли?*

Плотность атмосферы на высоте 250 км примерно в 1 млн. раз меньше, чем на уровне моря, а на высоте 360 км в 1 трлн. раз меньше. Тем не менее, столь разреженную атмосферу не следует сбрасывать со счетов. Даже на высоте в 1600 км (1000 миль), где плотность атмосферы составляет только одну квадриллионную от плотности на уровне моря, это слабое содержание воздуха в 1 млрд. раз больше, чем содержание воздуха в открытом космосе. Таким образом, точную границу между открытым космосом и атмосферой выделить очень сложно. Тем не менее, до высоты 60 тыс. км (10 земных радиусов) можно выделить протоносферу, состоящую из ионов водорода, а на высоте 300-1000 км выделяют гелиосферу с повышенным содержанием гелия.

10. *Какой слой атмосферы в переводе с греческого означает «сфера путешественников»?*

Слово «ион» происходит от греческого слова «путешественник». Данное наименование присвоено иону потому, что при прохождении электрического тока через содержащий ионы раствор положительно заряженные ионы идут в одном направлении, а отрицательные – в другом.

Открытие ионосферы было связано с опытами с беспроводной связью Гульельмо Маркони в 1901 г. Радиоволны обогнули округлость Земли и дошли от Англии до Ньюфаундленда, что было возможно, если радиоволны отразились бы от неба, находившегося высоко в атмосфере.

Слово «ионосфера» было введено в 1930 г. шотландским физиком Робертом Александром Уотсоном-Ваттом. Ионосфера (включает мезо- и термосферы) простирается примерно на высотах от 100 км до 300 км и выше. Ионосфера отражает только длинные радиоволны, используемые в обычной радиосвязи. Более короткие радиоволны, используемые в телевидении, проходят ионосферу, не отражаясь, из-за чего без спутников или без большого числа телепередающих антенн телевидение невозможно.

Ионосфера в наибольшей мере сказывается в конце дня, после продолжающегося всё дневное время воздействия солнечного излучения. На закате действие ионосферы ослабляется из-за того, что многие ионы и электроны рекомбинируют.

Во время солнечных бурь передача радиоволн на большие расстояния начинает прерываться и иногда полностью прерывается, поскольку колебания магнитного поля Солнца деформируют и искажают ионосферу Земли.

11. Много ли ионов содержится в 1 см³ ионосферы Земли?

В ионосфере на высоте от 100 до 400 км в каждом см³ содержится от 1 млн. вверху до 1000000000000000 (10¹⁵) внизу ионов (в основном заряженных атомов кислорода, оксида азота и свободных электронов). В среднем на высоте 300 км воздух ещё содержит 1 млрд. молекул и атомов в 1 см³, а на высоте 600 км – свыше 10 млн.

12. Может ли меняться масса атмосферы над каким-то отдельным регионом в разные сезоны воздуха? В какое время года масса воздуха над Евразией достигает максимума в связи с муссонной циркуляцией?

Зимой в январе над Евразией воздуха на 6 трлн. т (в 100 раз больше, чем например масса воды в Зейском водохранилище, или почти в 20 раз больше, чем масса воды в Азовском море) больше, чем в июле. Зимой над холодным массивом Азии скапливается огромная дополнительная масса воздуха. Избыток воздуха зимой объясняется охлаждением и уплотнением воздуха. В Сибири и на Дальнем Востоке, Китае над каждым 1 м² поверхности масса воздуха в январе на 180-200 кг больше, чем летом. Сток этих масс в океан и образует устойчивый зимний муссон. От января к июлю из северного полушария в южное с зимним муссоном переносится 4 трлн. т воздуха.

Летом картина обратная: в Гавайском максимуме воздуха больше, чем над Азией, и воздух дует с океана на сушу.

Это перемещение, а также накопление снега зимой и его таяние весной изменяют момент инерции Земли, и в какой-то степени это сказывается на ее вращении, на плавном движении полюсов – нутации.

По расчетам, полное прекращение ветров на Земле (например, это было бы возможно при остывании Солнца) может уменьшить длину суток на 0,002 с, или, другими словами, увеличится скорость осевого вращения.

13. Сколько молний ежесекундно происходит в атмосфере Земли?

Около 100-120, и преимущественно сосредоточены они над экваториальными районами планеты. Кстати, слово «молния» происходит от исландского *muln* – «огонь». Гроза от звукоподражания «г-р-г-р» с

образованием «гром», «греметь», что по смыслу аналогично словам «страх, ужас».

14. Какова средняя скорость ветра у поверхности Земли?

По одной из оценок, скорость ветра у Земли *около 10 м/с* (в Благовещенске 2,6 м/с) или 36 км/час, причём на механическое перемещение воздуха затрачивается не более 1-2% поступившей к Земле Солнечной энергии. На суше скорость ветра, как правило, ниже, но в океанических просторах ничто не мешает «разгуляться» ветру во всю силу.

15. Какая средняя облачность характерна для атмосферы Земли?

5,5-6 балла или *55-60% поверхности Земли* покрыто облаками, над сушей – 4,9 балла и над океаном – 5,8 балла. Всего в облаках Земли содержится порядка 10 млрд. т воды. 1 балл примерно соответствует 10% закрытия неба облаками, при этом в южном полушарии облачность равна 6,2, а в северном полушарии – 5,9 балла.

Наиболее облачны 70-50° ю. ш. над океанами (8,1-8 баллов) и наименее облачны участки суши в 20-30° с. и ю. широт (3,7 – 3,8 баллов). Максимальная облачность в около полярных районах связана с циклонической деятельностью, а минимум в зоне 30-20° связан с субтропическими антициклонами. В Благовещенске средняя облачность около 4,8 баллов с минимумом в феврале – 1,7 и максимумом в июле – 6,8 баллов.

16. Зимой с увеличением облачности становится заметно теплее, а как изменилась бы температура на Земле, если бы планетарная облачность возросла?

По расчётам Брукса, увеличение облачности с 50% (характерно для настоящего времени) до 60% привело бы к понижению среднегодовой температуры на земном шаре на 2 °С. Облачность в морозную и холодную погоду препятствует радиационному выхолаживанию поверхности Земли, поэтому в пасмурные дни и особенно ночи заметно теплей. Однако повышение облачности, в свою очередь, заметно уменьшает количество солнечной радиации, достигающей Земли. Брукс рассчитал, что понижение средней облачности только на 20% повысило бы среднюю температуру на Земле на 8 °С.

17. Молекулы воздуха сталкиваются друг с другом, совершая броуновское движение. Сколько столкновений с соседними молекулами

совершает 1 молекула воздуха за 1 секунду и почему газы атмосферы не улетают в космос?

Среднее число столкновений для молекулы на высоте 100 км – 1 столкновение в секунду, в то время как на уровне моря – 5 млрд. в секунду со скоростью для O_2 около 480 м/с (для водорода почти 2 км/с).

В воздухе при нормальных условиях среднее расстояние между молекулами в 10 раз больше размеров самих молекул. Часть молекул имеют большую скорость и на большой высоте, где столкновений в миллионы раз меньше, могут покинуть земную атмосферу. Утечка газов из атмосферы характерна для лёгких газов водорода и гелия, а кислород и азот столь тяжелы, что лишь незначительная доля из них достигает скорости 11 км/с – второй космической скорости, поэтому неудивительно, что легких газов в наши дни в земной атмосфере практически нет.

Более массивные планеты, такие как Юпитер и Сатурн, могут содержать даже водород и гелий (которые, вообще говоря, являются наиболее распространёнными элементами Вселенной). Удержанию лёгких газов также способствуют низкие температуры атмосферы. В то же время, если бы на Земле была температура такая же, как на поверхности Солнца (6000 °С), то все молекулы увеличили бы скорость броуновского движения в 4-5 раз, и Земля не удержала бы своего кислорода и азота, как она не смогла удержать водород и гелий.

18. Какое изменение температуры на Земле могло бы произойти при полной замене всех газов атмосферы на один углекислый газ?

Расчёты показали, что при замене азотно-кислородной атмосферы Земли на углекислотную должно произойти похолодание глобального климата приблизительно на 5,3 К (а не его потепление). Парадоксальный, на первый взгляд, результат о меньшем значении парникового эффекта для углекислотной атмосферы заключается в том, что главным фактором, определяющим температурный режим планетной тропосферы, является давление (т. е. масса) атмосферы. Снижение же температуры при замене азотно-кислородной атмосферы на углекислотную при том же давлении объясняется её меньшей теплоёмкостью и большей плотностью, а следовательно, меньшей толщиной самого атмосферного слоя. Такая атмосфера с меньшей теплоёмкостью оказывается подобной тонкому одеялу плохого качества, оно хуже сохраняет рассеиваемую в нём теплоту (на Венере на CO_2 приходится 94,4% массы, и при этом масса атмосферы в 84 раза больше, чем на Земле).

Однако в виде примеси в земной атмосфере углекислый газ – весьма активный парниковый газ. Так, при удвоении содержания CO_2 (современный уровень 0,03%) температура на Земле по расчетам может повыситься на $2,4^\circ$, тогда как уменьшение его современного уровня вдвое понижает температуру на $2,3^\circ$.

По одному из расчетов, если бы CO_2 отсутствовал в атмосфере совсем, то среднегодовая температура воздуха на Земле была бы на 21° ниже современной, т. е. на уровне -7°C .

ГИДРОСФЕРА

1. *Какие геосферные оболочки выделяют в пределах гидросферы?*

ГИДРОСФЕРА (от др.-греч. ὕδωρ – вода и σφαῖρα – шар) – это водная оболочка Земли. Она образует прерывистую водную оболочку. Средняя глубина океана составляет 3800 м, максимальная (Марианская впадина Тихого океана) – 11022 м. Около 97% массы гидросферы составляют соленые океанические воды, 2,2% – воды ледников, остальная часть приходится на подземные, озерные и речные пресные воды. Общий объем воды на планете около 1532 млн. км³. Масса гидросферы примерно $1,46 \times 10^{21}$ кг. Это в 275 раз больше массы атмосферы, но лишь 1/4000 от массы всей планеты. Гидросферу на 94% составляют воды Мирового океана, в которых растворены соли (в среднем 3,5%).

ГЛЯЦИОСФЕРА – это совокупность снежно-ледяных образований на поверхности Земли, самостоятельная компонента глобальной природной системы наряду с сушей, морем, внутренними водами, атмосферой. Она представляет собой часть криосферы. Гляциосфера обладает важными специфическими свойствами: наличием воды в твердой фазе, замедленным массообменом, высокой отражательной способностью, огромными затратами тепла на фазовые переходы, особым механизмом воздействия на сушу и земную кору.

КРИОСФЕРА (от др.-греч. κρύος – холод и σφαῖρα – шар) – одна из географических оболочек Земли, характеризующаяся наличием или возможностью существования льда. Криосфера расположена в пределах теплового взаимодействия атмосферы, гидросферы и литосферы. Криосфера простирается от верхних слоев земной коры до нижних слоев ионосферы.

ОКЕАНОСФЕРА – сфера океанов, занимает более 70% поверхности Земли.

ХИОНОСФЕРА (от греч. χιόν – снег и σφαῖρα – шар) – часть тропосферы, в которой на поверхности суши при благоприятных усло-

виях рельефа возможно зарождение и существование снежников и ледников.

2. В какой сезон года площадь гидросферы на Земле максимальна?

Из 510 млн. км² поверхности земного шара 361,2 млн. км², или 70,8%, покрыты водами Мирового океана. С учетом оледенения, озер, рек, болот площадь гидросферы достигает 383 млн. км². Водные объекты (ледники, озера, реки, водохранилища, болота) постоянно занимают 21,5 млн. км², или 14,4% площади суши.

В *феврале* с учетом снежного покрова (в январе-феврале площадь снежного покрова на Земле максимальна) площадь гидросферы достигает 443 млн. км², или почти **87%**, поверхности земного шара. Разумеется, с учетом атмосферной, почвенной и грунтовой влаги площадь гидросферы на Земле равна 100%.

3. Если всю воду гидросферы Земли собрать в одну каплю, какого диаметра достигнет капля?

Около **1500 км**. Если Мировой океан мысленно поместить в куб, то сторона куба будет равна 1100 км. Следует заметить, что гидросфера в 300 раз тяжелее всего атмосферного воздуха, но в 4100 раз легче земного шара.

В тридцатикилометровом слое атмосферы сосредоточено 99% всей массы атмосферы. На глобусе диаметром 40 см атмосфера была бы толщиной около 1 мм, тогда как Мировой океан со средней глубиной в 3,7 км был бы толщиной в 0,1 мм. Мировой океан на поверхности Земли смотрится как влажная пленка после протирания футбольного мяча влажной тряпкой. Таким образом, мы живем не на планете «Океан», а скорее только на мокрой планете, поверхность которой слегка смочена водой, да и то не по всей поверхности.

Если земной шар свести к шару диаметром в 10 м, то в этом масштабе толщина атмосферы в 30 км будет около 25 мм, толщина Мирового океана около 3 мм (воды океанов составят объем в 225 л, полярных льдов – 5 л, поверхностных вод суши – около 0,5 л).

4. Объем всей гидросферы Земли оценивается в 1,4 млрд. км³, а сколько воды еще содержится в мантии?

Около 20 млрд. км³, или в 10-15 раз больше, при этом ежегодно из мантии на поверхность выделяется около 1 км³ воды; при таком темпе через 1,4 млрд. лет объем воды на поверхности Земли удвоится. Масса гидросферы по отношению к массе Земли относительно невелика и

составляет около $1/4180$ массы планеты (с учетом связанной воды в недрах Земли $1/400$ часть или $0,25\%$).

Каменные метеориты содержат $0,5-1\%$ воды. Если принять их за аналог вещества, образовавшего Землю, то, исходя из ее массы и относительного содержания воды ($0,5\%$), получим массу воды около 30 млрд. км³ (22 объема современного Мирового океана).

5. *Сколько воды содержится во всей гидросфере Земли?*

В гидросфере Земли (подземные + поверхностные воды) присутствует 2,53 млрд. км³ воды, что можно представить в виде куба со стороной немногим больше 1350 км. На подземные воды в литосфере приходится около 570 млн. км³ воды, или примерно в 1200 раз больше объема Чёрного моря (куб с длиной стороны в 825 км), и $2/3$ этой воды находится в связанной форме в виде молекул Н₂О, гидроксила ОН⁻ и гидроксония Н₃О⁺).

По одной из оценок (А.П. Виноградов), в литосфере, океане и атмосфере содержится всего около 1% всей воды земного шара, а ниже поверхности Мохоровичича (глубже 10-70 км) сосредоточено 99% всей воды планеты.

6. *Как бы изменился уровень Мирового океана, если бы вся вода, содержащаяся в литосфере, выделилась на поверхность?*

Среднее содержание всех связанных вод в литосфере (физически связанной или пленочной и химически связанной в составе минералов) составляет 3,56% веса горных пород, что дает в сумме 842 млн. км³, тогда как подземных вод (гравитационных и капиллярных) в мире всего около 23,4 млн. км³ (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974). Таким образом, в литосфере связано воды больше, чем содержится в Тихом океане (707,1 млн. км³). Если бы эта вода поднялась на поверхность Земли, то ее хватило бы покрыть Землю дополнительным слоем воды в 1650 м, что при средней высоте суши над уровнем моря в 875 м «утопило» бы всю современную сушу. От современной суши остались бы горы и плоскогорья, в сумме не превышающие 10% современных материков и островов.

В случае, если бы на поверхность поднялась вся вода, содержащаяся в мантии Земли (10-20 Мировых океанов), уровень океана поднялся бы на 30-50 км, и суша не могла бы сохраниться ни под каким предлогом.

7. Когда на Земле появилась гидросфера и каковы перспективы ее будущ его развития?

Первичная Земля не имела гидросферы, а ее атмосфера не могла быть плотной и состояла скорее всего из азота. Гидросфера и плотная атмосфера появились значительно позже, приблизительно через 600 млн. лет после образования Земли. Приблизительно через 200 млн. после начала дегазации (т. е. около 3,8 млрд. лет назад) воды на земной поверхности скопилось столько, что стали возникать первые, правда, сравнительно мелководные морские бассейны. Эти молодые моря еще были изолированы друг от друга, но в них уже начали отлагаться древнейшие осадочные породы [Свиточ, 2004].

Следует заметить, что первая мысль о вулканическом происхождении воды (дегазация проявляется в виде вулканизма) принадлежит выдающемуся русскому ученому М. В. Ломоносову.

С максимальной скоростью дегазация воды из мантии происходила после выделения у Земли плотного ядра (из железа) и перехода ее тектонического развития к тектонике литосферных плит, т.е. в самом начале протерозоя около 2,5 млрд. лет назад, и эта скорость достигала 1,5 км³/год. С тех пор скорость дегазации закономерно снижалась до современного уровня – около 0,26 км³/год (в ряде источников выделение ювенильных вод оценивают до 1-1,5 км³).

Через 1 млрд. лет объем Мирового океана вырастет примерно до 1,5 млрд. км³ (ныне 1,37 млрд. км³), или на 9,5%, что даст приращение уровня океана примерно на 300 м (Благовещенск расположен на высоте 130 м).

Однако в будущем при общем снижении тектонической активности Земли толщина осадков, отлагающихся на дне океанов, со временем должна быстро возрастать. Осадки не менее эффективны, чем серпентины, резервуары связанной воды. Поэтому в будущем при затухании тектонической активности Земли содержание воды в океанической коре (а точнее, в ее осадочном слое) вновь начнет возрастать, а масса воды в океане уменьшаться. Прогрессивное снижение уровня океана, связанное с общим ослаблением тектонической активности Земли, и соответствующее увеличение глубины океанических впадин продолжатся и в будущем [Свиточ, 2004].

8. Были ли периоды в истории Земли, когда Мировой океан занимал площадь большую, чем в настоящее время?

Развитие океана в истории Земли представляет собой непрерывный ряд колебаний его уровня, состоящих из трансгрессивных и ре-

грессивных фаз (подъемов и опусканий уровня). За последние 600 млн. лет отмечается до 8 крупных трансгрессий, разделенных эпохами глобального падения уровня и осушения шельфа.

Самая мощная трансгрессия происходила в раннем палеозое (около 470 млн. лет назад), когда было затоплено более 70 млн. км² площади современных континентов (как площадь десяти Австралий) – почти половина всей суши. В это время уровень Мирового океана поднимался со скоростью около 8 м за 1 млн. лет.

Двумя волнами (верхний мел и эоцен) отмечается крупнейшая в фанерозое трансгрессия океана, достигшая максимума около 90-97 млн. лет назад, когда уровень поднимался на 150 м выше современного уровня (Благовещенск, находящийся на высоте 130 м, оказался бы под водой) и около 40% современных континентов находились под водой. Температура глубинных вод превышала современную температуру вод на 10 °С.

Крупнейшая регрессия океана состоялась в неогене, в последние сотни тысяч лет, в периоды четвертичных оледенений. В максимум оледенения площадь суши увеличивалась на 10 млн. км² (Австралия для сравнения: 7 млн. км²).

Трансгрессии сопровождалась самыми теплыми периодами в истории климата Земли, а регрессии – самыми холодными. При возрастании площади океанов альbedo Земли понижается, и планета накапливает больше солнечного тепла, что сопровождается потеплением климата.

9. Каким образом отражается тектоническая активность Земли на уровне Мирового океана?

Чем выше тектоническая активность Земли, тем меньшим становится объем океанических впадин и, следовательно, тем более высокой будет трансгрессия моря на континенты. Если тектоническая активность падает, океаническая кора остывает, кристаллизуется, сжимается и опускается, что увеличивает среднюю глубину в океане, снижает его уровень и повышает относительную площадь материков. Увеличение относительной площади материков (выше альbedo планеты) с одновременным сокращением выбросов СО₂ (при низкой тектонической и вулканической активности) понижает глобальную температуру атмосферы.

При полном прекращении тектонической активности океан вообще может поглотить всю сушу. Так, при современных темпах заполнения океанических впадин сносимыми с суши осадками со скоростью

$2,2 \cdot 10^{16}$ г/год весь объем этих впадин, близкий к $1,37 \cdot 10^{24}$ см³, оказался бы полностью засыпанным приблизительно через 1,2 млрд. лет. Вся поверхность земного шара была бы покрыта водной гладью без единого клочка суши. Более того, на океаническом дне не существует осадков древнее 160-170 млн. лет. Следовательно, осадки затачиваются под островные дуги и активные окраины материков и там переплавляются, вновь поднимаясь вверх в виде вулканического материала, формируя континентальную кору.

Таким образом, на относительно небольшом промежутке времени снижение тектонической активности приведет к понижению уровня Мирового океана, однако отсутствие тектонической активности в течение сотен миллионов лет приведет к исчезновению суши как таковой и превращению Земли в планету «Океан».

10. *Какая часть современной суши и ранее покрывалась водами Мирового океана?*

Геологи утверждают: 95% поверхности суши покрыто морскими отложениями. Почти всё, что мы привычно называем Землей, на самом деле бывшее дно моря, в том числе и Гималаи (а также Альпы, Пиренеи, Аппенины, Карпаты, Атласские горы), сложенные морскими осадками.

11. *В фантастическом фильме «Водный мир» показана Земля, покрытая океанами в результате глобального потепления, где клочки суши встречаются на планете крайне редко. Сколько процентов суши в реальности могло бы уйти под воду в случае таяния всех ледников?*

Если бы весь лед растаял (в том числе и в Антарктиде, и Гренландии), то уровень океана повысился бы на 64 м, и его площадь возросла бы на 1,5 млн. км², а площадь суши соответственно уменьшилась бы всего на 1%.

12. *В каком месяце года на земном шаре снежный покров занимает наибольшую площадь?*

В январе-феврале снегом покрыто 19,2% Земли, причем 31% в северном и 7,5% в южном полушарии, а в августе только 9,2% поверхности Земли, в том числе 14% в южном и 4,3% в северном полушариях. Ежегодно на Земле образуется 17200 млрд. т снега, что при плотности в 0,25 г/см³ дало бы объем 68400 км³, что равно кубу со стороной в 40 км. Если весь этот снег равномерно распределить по поверхности зем-

ного шара, то образовался бы слой в 15-30 см (в пересчете на свежее выпавший снег) и 33 мм в пересчете на слой воды (в Благовещенске 40-45 мм).

Около 3% *всех осадков* на Земле выпадает *в виде снега*, снежной крупы, изморози и ледяных кристаллов. Ежегодно масса сезонного снега на Земле изменяется от 13500 млрд. т в конце зимы северного полушария на площади в 95 млн. км² (более 9 площадей Китая), до 7400 млрд. т на площади в 44 млн. км² (как 5 площадей Китая) в конце зимы южного полушария. Средняя мощность сезонного снежного покрова достигает 10-12 см при влагозапасе в 10,5 мм, слоя или 10,5 кг воды на 1 м² снежной поверхности.

В Амурской области на снег приходится около 8-10% выпадающих осадков. В среднем снег в Благовещенске держится с 26 октября по 11 апреля, т. е. 138 дней, или 38% времени года.

13. Какова распространенность во Вселенной и на Земле элементов, «рождающих» воду, – водорода и кислорода?

Молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода – самого распространенного в природе элемента: 93% всех атомов Вселенной, по Бертрану Расселу, – атомы водорода. Этот химический элемент составляет 76% мировой массы (массы Вселенной). Из водорода состоят звезды, в том числе на 84% и Солнце. Из-за молекул воды атомов водорода в теле человека оказалось больше, чем всех остальных атомов, вместе взятых, а по массе на водород приходится 10%, на кислород – 65%.

В земной коре водорода относительно немного, около 0,97% от ее общей массы, и еще меньше доля водорода в массе земного шара. Водород уникален не только своей распространенностью во Вселенной, но и предельной простотой строения атома, состоящего из одного протона, вокруг которого вращается один единственный отрицательно заряженный электрон с массой, равной примерно 1/2000 массы протона. Водород является самым легким элементом в мире, поэтому он находится на первом месте в таблице Менделеева.

Кислород, ядро которого составляют 8 протонов (столько же нейтронов), широко распространен на Земле. В земной коре по весу содержится 47% кислорода. В составе земного шара кислород уступает, вероятно, только железу и доля его достигает 28,5% (железа – 35,9%, кремния – 14,3%).

14. Есть ли океаны на других планетах, и из чего они состоят?

Прежде всего, давайте четко сформулируем, что же такое океан, при каких условиях он может возникнуть. *Океан* – это значительный слой жидкости на поверхности планеты, резкой границей отделенный от атмосферы. Поэтому температура хотя бы на части поверхности планеты должна быть выше температуры плавления того вещества, из которого океан состоит. Но этого недостаточно. Ведь если общая масса этого химического соединения на планете мала, то и при нужной температуре оно целиком может оказаться в атмосфере в виде газа. Следовательно, для существования океана нужно, чтобы парциальное давление какого-либо газа над поверхностью планеты оказалось бы выше давления насыщенного пара. Но и это еще не все.

Для каждого соединения известны величины критического давления и критической температуры. При давлении выше критического или при температуре выше критической нет физической разницы между жидкостью и газом, не существует поверхности раздела между этими фазами, они непрерывно переходят друг в друга. Отсюда сразу следует, что ни на одной из планет Солнечной системы не может быть гелиевого и не может быть водородного океанов. Критическая температура гелия всего 5 К, водорода – только 33 К. Они ниже, чем температуры излучения всех планет. Гелий и водород, обильно присутствующие в атмосферах планет-гигантов, при погружении в их недра непрерывно, как на Солнце, переходят в планетные слои сильно сжатого вещества. Хотя оно там и похоже на жидкость – расстояния между молекулами близки к размерам самих молекул, – океаном мы его называть не станем: нет границы раздела с атмосферой.

По этой же причине на Юпитере, Сатурне, Уране и Нептуне нет ни метанового, ни аммиачного океанов, хотя в атмосферах эти газы присутствуют. На тех высотах, где парциальное давление, скажем, метана превзойдет давление его насыщенного пара, он начнет конденсироваться. Но не в океан. При общей малой его конденсации этот конденсат будет не слоем жидкости, не океаном, а слоем мелких капелек метана, метановым облаком.

На Земле океан из воды может существовать вплоть до температуры $+374^{\circ}\text{C}$ (647 К). Именно с этой температурой вся вода на Земле испарилась бы и перешла в газ.

Единственный океан на поверхности (не закрытой льдом) обнаружен только на Титане – спутнике Сатурна. Состоит он из метана в ложе из водяного льда. При температуре -180°C лед приобретает твердость гранита, а метан становится жидким. Хотя про океан на Титане лучше не говорить, лучше отметить, что Титан – озерный край

(более 400 озер). Крупнейшее озеро – Море Кракен достигает в поперечнике 1200 км, что сравнимо с площадью Черного моря (площадь около 400 тыс. км²). Сосредоточены метановые моря в приполярных шапках, где относительно холодней.

Титан оказался вторым небесным телом после Земли, на поверхности которого обнаружены крупные стабильные резервуары жидкости – озера и моря.

15. В литературе часто акцентируется внимание на том, что ¼ планеты покрыты водой и Землю с большим основанием можно было бы назвать планетой «Океан». А если сравнить Землю по содержанию воды с другими телами Солнечной системы, где будет воды относительно больше, на Земле или в космосе?

Земля относительно бедна водой. Земное вещество по сравнению с углистыми хондритами по среднему составу обеднено водой в 200-250 раз (углеродом в 1000 раз, калием – в 5-7 раз, а также метаном, аммиаком, благородными газами, водородом). Концентрация воды в мантии Земли приблизительно равна 0,05%, а возможно, реальная величина может оказаться заметно меньше. Вода и другие легкие элементы оказались «выметены» солнечным ветром на далекие окраины Солнечной системы [Свиточ, 2004]. Так, у Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и их спутников вода наряду с водородом, гелием, аммиаком, метаном и другими газами формирует атмосферы и мантии мощностью в сотни и тысячи километров.

Масса земной гидросферы составляет около 1/4000 от массы Земли, а с учетом воды в мантии около 1/400, или 0,25% от массы планеты. В то же время настоящими «водными мирами» являются спутники Юпитера. Если на Земле мощность ледников достигает 3-4,5 км, то на Каллисто – спутнике Юпитера (4800 км в диаметре, для сравнения: Луна – 3474 км) толщина льда достигает 200 км, под которым находится слой жидкой воды до 10 км, а глубже слой льда и горных пород достигает до 1000 км. По расчетам, Каллисто на 40-60% состоит из воды, а это означает, что воды в его относительном составе почти в 200 раз больше по сравнению с количеством воды в составе земного шара.

На Ганиমেде (по размерам превосходит Меркурий и имеет диаметр 5262 км) ледяная кора достигает 100-170 км, а мантия из воды и льда до 400-950 км.

На Европе, еще одном спутнике Юпитера (3138 км в диаметре), толща льда до 30-70 км, водяная мантия до 100 км. Объем гидросферы

на Европе больше объема всей гидросферы Земли. Относительная масса гидросферы на Европе более чем в 200 раз превышает массу гидросферы на Земле.

Примерно на 30-50% состоят из воды крупнейший спутник Сатурна – Титан – и крупнейший спутник Нептуна – Тритон.

Знаменитые кольца Сатурна состоят из водяного льда. Вблизи кольца теряют свою монолитность и превращаются в огромное количество отдельных «спутников» Сатурна – частиц из обычного льда самой разной величины: от мелких пылинок до глыб с поперечником 10-15 м. Основная масса колец Сатурна заключена в частицах метровых размеров. Но это не цельные куски льда, а снежные комья, такие же рыхлые, как свежесвыпавший земной снег. Суммарная масса ледяных колец Сатурна сравнима с массой его спутника Мимаса, радиус которого равен 200 км.

Спутник Сатурна Энцелад (500 км в диаметре) считается самым чистым и светлым из спутников в Солнечной системе. Его поверхность покрыта ровным слоем водяного льда, не имеющего никаких примесей. Это придает спутнику идеально белый цвет с альбедо 99% (он белее свежесвыпавшего снега). Судя по гейзеру высотой до 500 км, подо льдом расположена жидкая вода (это самый высокий гейзер в Солнечной системе). Вода из гейзера замерзает в виде ледяных кристаллов размером порядка 10 микрон, которые и падают на поверхность Энцелада. Температура на поверхности этого спутника Сатурна около -200°C .

В Нептуне мантия, по предположению, состоит из льда воды, аммиака и метана мощностью до 8 тыс. км. В Уране под газовой оболочкой должен располагаться океан из воды, аммиака и метана глубиной до 10 тыс. км, с температурой под $+2200^{\circ}\text{C}$ и давлением на уровне океана – 200 тыс. земных атмосфер.

Земля заметно обогащена железом на фоне относительного состава планет и метеоритов Солнечной системы. Чем дальше от Солнца, тем меньше железа в планетах: Меркурий содержит около 65% железо-никелевой фазы, Венера – 28,8%, Земля (вместе со «сброшенным» на нее железом Протолуны) – 32,5% (железо самый распространенный элемент в составе земного шара), а Марс – 20% [Свиточ, 2004].

Таким образом, Земля как планета относительно «сухая», а по химическому составу ее скорее можно назвать планета «Железяка», чем планета «Океан».

16. Можно ли встретить воду за пределами Солнечной системы?

Ученые обследовали одно из «холодных» газовых облаков в нашей Галактике (таких облаков в нашей Галактике более миллиона), в которых образуются звезды типа Солнца, и выяснили, что молекула воды по распространению уступает только водороду и оксиду углерода. Например, в одном из «холодных» облаков с массой в тысячу масс Солнца количество воды (пар и лед) эквивалентно сотне масс Юпитера, или 3180 массам Земли.

Европейские астрономы в 30 световых годах от Земли открыли планету размером с Нептун (диаметром 50 тыс. км и в 22 раза тяжелее Земли), которая состоит примерно на 50% из воды. Поверхность планеты укутана плотной завесой из пара с температурой у поверхности более +300 °С. На больших глубинах в планете вода, вероятно, представлена экзотическими разновидностями «горячего льда».

Стоит заметить, что вода – это своеобразная «химическая яма» или ловушка для водорода и кислорода. Ион кислорода вытесняет другие неметаллы из их водородсодержащих соединений. Результатом, конечно же, является вода. Исключение здесь, вроде бы, составляет лишь фтор. Но фтор образует фтористый водород, способный взаимодействовать с силикатами и оксидом кремния, опять же с образованием воды! Так что, если «смешать в кучу» все химические элементы, а планеты – это и есть своеобразные «кучи», собранные силами гравитации в компактные шары различных химических элементов, то водород и кислород обязательно, рано или поздно, соединятся в воду.

Таким образом, практически любая планета содержит в своих недрах или на поверхности то или иное количество воды. Однако, если планета относительно небольшая (как Меркурий, Луна или даже Марс) и на поверхности теплая, то она может потерять всю воду, выделившуюся на поверхность. Если небольшая планета очень холодная, как спутники Юпитера или Сатурна, то вода может сохраниться в виде ледяных массивов (стоит этим планетам растаять, как потеря воды станет неизбежной со временем).

17. За какое время вся вода гидросферы «прокачивается» через различные виды круговоротов – «фильтров»: через реки, ледники, подземные горизонты, организмы?

Самый медленный круговорот воды – геологический. По оценке О.Г. Сорохтина, за время существования нашей планеты гидросфера несколько раз прошла через геологический фильтр. Ежегодно около 3 км³ воды химически связывается породами океанической коры, и по

истечении нескольких миллионов лет эта вода высвобождается в зонах субдукции при вулканических извержениях.

Биологический «фильтр» пропускает всю воду гидросферы через себя за время от 5 до 6 млн. лет (вода полностью разлагается фотосинтезом до органики и кислорода и обратно окисляется до воды). Планктон океана за год пропускает через себя объем воды, равный объему всего Мирового океана (возможно, до двух объемов). Полный оборот через наземную растительность в ходе транспирации гидросфера совершит за 50 тыс. лет (с учетом почвенных грибов и микроорганизмов гораздо быстрее).

Через ледники вся гидросфера «прокачивается» примерно за 100 тыс. лет. Только за последний миллион лет ледовых циклов было не менее 4-8, когда вся гидросфера прокачивалась через ледники.

Через фильтр почв и осадочных пород (подземные воды) вся вода гидросферы проходит примерно за 100 тыс. лет, т. е. за время существования Земли уже несколько десятков тысяч раз.

Пропуск всей воды гидросферы через речные системы при современном уровне стока продолжается приблизительно 30 тыс. лет, т. е. любая капля воды не менее 100 тыс. раз проходила цикл «океан – река – океан».

Вся современная масса гидросферы полностью испаряется за 3 тыс. лет, а за время существования Земли вся вода прошла через паровое состояние несколько миллионов раз.

18. Какое количество воды потеряно Землей за геологическое время?

Земля отдаёт воду путём диссипации водорода в протоносфере в космос (нижняя часть которой называется водородной короной) на высотах более 1500 км, где лёгкие газы ускользают за пределы земного притяжения. Эти потери, по некоторым подсчётам, за всю геологическую историю составили около 0,5% от всей массы воды, заключённой в гидросфере (не менее 7 млн. км³, что примерно эквивалентно потере объёма воды 15 Чёрных морей или почти 2000 Азовских морей).

С солнечным ветром Земля постоянно получает атомы водорода, которые, соединяясь с кислородом, порождают воду. Полный баланс получения и потерь Землей воды пока не рассчитан.

19. Сколько осадков по весу ежесекундно выпадает на поверхность Земли?

Около 16 млн. т воды ежесекундно выпадает и столько же испаряется с поверхности Земли, что в 8420 раз больше ежесекундного стока реки Зей. Это значит, что в любое время года на площади в 16 тыс. км² (как 1/3 Нидерландов) идет ливень с интенсивностью 1 мм/мин., или на площади 160 тыс. км² (как 2 Португалии или примерно как ½ Амурской области) идет дождь средней интенсивности (0,1 мм/мин.).

В среднем от испарения до выпадения молекула воды путешествует около 10-11 дней, преодолевая 3-5 тыс. км.

В среднем за год на Земле выпадает 920 мм осадков (734-1030 мм). При этом в среднем на 1 км высоты гор количество осадков возрастает примерно на 100 мм.

20. *Вода в океанах и атмосфере аккумулирует тепло и задерживают тепловое излучение атмосферы в космосе, что делает климат Земли на 36° теплее расчетной, а может ли вода при этом понижать среднюю земную температуру?*

В целом, климат Земли без воды был бы холоднее на 36°, то есть был бы -21°C вместо +15°C. Однако в ряде случаев вода может и понижать температуру.

Так, в глубинах океана накопилась очень большая отрицательная тепловая энергия, отрицательная потому, что средняя температура океана +3,5°C меньше средней температуры поверхностных вод океана на 14 градусов (средняя температура поверхностных вод Мирового океана равна +17,4, а поверхности Тихого океана +19,3°C). Поэтому всякое усиление перемешивания глубинных вод океана с поверхностными приводит к похолоданию климата, а очень интенсивное их смешение может вызывать даже ледниковый период. Достаточно отметить, что снижение температуры верхнего 100-метрового слоя воды в океане на 0,1°C может понизить температуру воздуха на 6°C, а в разгар ледникового периода температура атмосферы у поверхности Земли была на 5°C ниже современной.

21. *При какой температуре на Земле мог бы испариться весь Мировой океан и вся гидросфера перешла бы в атмосферу?*

При всей очевидности ответа, что при +100 °C вся жидкая вода стала бы газообразной и атмосфера Земли стала бы настоящей атмосферой, т. е. «сферой из пара» (с греческого «атмос» – пар), температура должна быть гораздо выше. Если вся вода на Земле перейдет в атмосферу, то давление ее окажется в 267 раз больше нынешнего, поскольку масса воды в 266 раз больше массы атмосферы. Чем выше

давление, тем выше температура кипения воды, поэтому океан мог бы исчезнуть, перейдя полностью в атмосферу при температуре выше +374 °С. При этом граница вода – атмосфера исчезнет, а давление у бывшего океанического дна окажется равным 267 атмосферам.

22. С объёмом какого моря можно сравнить количество воды, испаряющейся с поверхности Земли за год?

За год с поверхности океанов испаряется около 1500, а с материков около 240 мм, т.е. в 6,2 раза меньше. Всего с поверхности планеты испаряется за год 520 тыс. км³ воды (столько же выпадает с осадками). Этот объём воды может быть сравним с объёмом воды в Чёрном море, средний объём которого 537 тыс. км³ и средняя глубина 1,2 км.

Каждые 6 часов с Земли испаряется около 320 км³ влаги, что эквивалентно объёму Азовского моря (такой же объём воды в это время где-то выпадает с осадками), за 16 дней испаряется объём, равный Балтийскому морю (23 тыс. км³), а каждый час – объём, примерно равный Зейскому водохранилищу, или около 60 км³ (ежесекундно испаряется около 16,7 млн. т водяных паров).

БИОСФЕРА

1. Какие геосферные оболочки выделяют в пределах биосферы?

АКВАБИОСФЕРА – подразделение гидробиосферы, охватывающее континентальные, главным образом пресноводные бассейны.

АЛЬТОБИОСФЕРА (от лат. altus – высокий и биосфера) – часть аэробIOSферы, являющаяся зоной жизни аэробиионтов (альтобионтов), с очень разреженной микробиотой. расположенная выше тропосферы.

АПОБИОСФЕРА (от греч. apo – без и биосфера) – высокие слои атмосферы (60-80 км), где практически отсутствуют живые организмы, а органические вещества обнаруживаются в ничтожных количествах.

АРТЕБИОСФЕРА (от лат. ars (artis) – искусство и биосфера) пространство человеческой экспансии в ближнем (околоземном) космосе. К артебиосфере относятся искусственные спутники Земли, а также пилотируемые и автоматические летательные аппараты (космические корабли).

АФОТОСФЕРА – область развития жизни без солнечного света. В океане то же, что афотическая зона, или абиссопелагиаль и абиссаль в сумме. В литобиосфере афотосфера занимает всю ее толщу.

АЭРОБИОСФЕРА – приземной слой атмосферы, в котором постоянно присутствуют живые организмы и где они при наличии подходящих субстратов способны нормально жить и размножаться.

АЭРОСФЕРА – земная оболочка, составленная надземной атмосферой и подземной тропосферой, включая почвенный воздух. Аэросфера – среда обитания аэробов.

БИОГЕНОСФЕРА – участки поверхности Земли, на которых имелись благоприятные физико-химические условия для возникновения и развития жизни.

БИОГЕОСФЕРА (от био, гео и сфера) – оболочка земного шара, где находится живое вещество планеты. Биогеосфера расположена на границе контакта поверхностного слоя земной коры с воздушным океаном и в верхней части водной оболочки. Биогеосферу также иногда называют: слой сгущений жизни, плёнка жизни (В.И. Вернадский); биогеоценотический покров (В.Н. Сукачёв); витасфера (А.Н. Тюрюканов и В.Д. Александрова). Витасфера (от лат. *vita* – жизнь и *sphaera* – шар) – слой биосферы, ограниченной растительным покровом с прилегающим к нему слоем атмосферы и подпочвы. Мощность витасферы на суше достигает сотни метров. Витасфера отличается от понятия «географическая оболочка» (ландшафтная среда), она не включает в себя геосистемы, где жизнь практически отсутствует: лавовые озера, стерильные участки вечных льдов и другие природные ландшафты.

Биогеосфера занимает область концентрации живого вещества – плёнку различной толщины (от нескольких до десятков и сотен метров). Элементарными ячейками биогеосферы являются биогеоценозы.

Биогеосфера является единственной оболочкой Земли, в которой возможны постоянное нахождение и нормальная деятельность человека. Человечество черпает почти все необходимые ему ресурсы из биогеосферы: воду, кислород, топливо, продовольствие, сырьё для промышленности. Биогеосфера испытывает со стороны человечества разнообразные воздействия, в том числе и разрушительные.

БИОСФЕРА (от др.-греч. *βίος* – жизнь и *σφαῖρα* – сфера, шар) – оболочка Земли, заселённая живыми организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности; «плёнка жизни»; глобальная экосистема Земли. Биосфера – оболочка Земли, заселённая живыми организмами и преобразованная ими. Биосфера сформировалась 500 млн. лет назад, когда на нашей планете стали зарождаться первые организмы. Она проникает во всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы, то есть насе-

ляет экосферу. Биосфера представляет собой совокупность всех живых организмов.

ГЕОБИОСФЕРА – слои биосферы в пределах суши.

ГИДРОБИОСФЕРА – слой биосферы, вся совокупность живого, населяющего поверхностные воды Земли. Гидробиосфера делится на аквабиосферу континентальных вод и океанобиосферу Мирового океана.

ГИПОБИОСФЕРА – часть панбиосферы, слой литосферы, куда живые организмы могут попадать лишь в результате случайных причин и где они в состоянии временно существовать, но не нормально жить и размножаться.

ГИПОТЕРРАБИОСФЕРА (от гипо..., лат. terra – земля и биосфера) – подтеррабиосфера, часть литобиосферы, где возможна жизнь аэробных организмов (литобионтов).

ЛИТОБИОСФЕРА (от лито... и биосфера) – 1) часть биосферы, занимающая верхние слои литосферы, – обычно до 8-10 м (реже до 2-3 км – в водах нефтеносных слоев); 2) область распространения живых организмов (по трещинам, подземным водомам); 3) область биогенных осадочных пород («былых биосфер», по В.И. Вернадскому).

МАРИНОБИОСФЕРА (от латинского marinus – морской и биосфера) – совокупность организмов (марибионтов), обитающих в Мировом океане.

МЕГАБИОСФЕРА – слой атмосферы, вся гидросфера и часть литосферы, где постоянно или временно присутствуют и размножаются живые организмы или они в прошлом были преобразованы или испытывали влияние «былых биосфер». Мегабиосфера состоит из панбиосферы и метабиосферы.

ПАНБИОСФЕРА – слои атмосферы, вся гидросфера и часть литосферы, где постоянно или временно присутствуют живые организмы. Панбиосфера есть совокупность парабиосферы, собственно биосферы и гипобиосферы.

ПАРАБИОСФЕРА – слои атмосферы (между 6-7 и 60-80 км над поверхностью Земли), куда живые организмы попадают случайно и где они могут временно существовать, но ненормально жить и размножаться.

ПЕДОСФЕРА – часть биосферы; почвенный покров Земли (с лат. Pedis – подножие).

ТЕЛЛУРОБИОСФЕРА (от лат. tellus (telluris) – Земля и биосфера) – часть литосферы ниже предела распространения подземной тропосферы, в пределах которой могут существовать лишь организмы-

анаэробы. Литобиосфера распадается на слой, где возможна жизнь аэробов – гипотеррабиосфера и слой, где возможно лишь обитание анаэробов – теллуриобиосфера.

ТЕРРАБИОСФЕРА (от лат. terra – Земля и биосфера) – часть геобиосферы, представляющая собой область жизни на поверхности суши и населенная террабионтами. Подразделяется на фитосферу и педосферу.

ТРОПОБИОСФЕРА (от греч. tropē – поворот, изменение и биосфера) – часть аэриобиосферы, зона жизни организмов (тропобионтов), расположенная от вершин деревьев до высоты наиболее частой встречаемости кучевых облаков; пространственно это более тонкий слой, чем атмосферная тропосфера.

ФИТОСФЕРА – поверхностный слой над землей (до 150 м), где условия среды в значительной мере определяются растительностью.

ФОТОСЕРА – биосфера в пределах солнечного освещения.

ЭКОСФЕРА – синоним биосферы; совокупность свойств Земли как планеты, создающих условия для развития жизни. Пространственно экосфера включает тропосферу, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы.

2. Если все живое вещество биосферы распределить равномерно по поверхности Земли, какой мощности получится толщина слоя?

Около 2 см, или на каждый 1 м^2 площади придется около 18-20 кг растительной и 140 г животной массы.

3. Какова средняя годовая продуктивность биосферы в пересчете на сухое органическое вещество, в среднем на каждый 1 м^2 поверхности Земли?

0,225 кг.

4. Какое количество вещества побывало биомассой за время существования жизни на Земле?

Общая масса вещества, прошедшего через живые организмы или биосферу, в 12 раз превышает массу Земли.

5. На какой максимальной высоте были обнаружены споры бактерий и грибов?

Жизнеспособные организмы (вирусы, споры бактерий, грибов) обнаруживаются на высотах от 33 до 85 км.

6. На какие элементы приходится 98,5% состава живого вещества Земли?

Оценка среднего химического состава живого вещества была произведена А.Н. Виноградовым. Эта оценка показала, что на кислород приходится 70%, углерод – 18%, водород – 10,5%, кальций – 0,5%, калий – 0,3%, азот – 0,3% массы биосферы.

7. Как соотносится масса всех животных суши к массе всех растений суши Земли?

Масса животных суши в 1000 раз меньше биомассы растений. Биомасса растений суши достигает 6,4 трлн. т, тогда как биомасса животных 6 млрд. т.

В Мировом океане масса животных (28,8 млрд. т) больше массы растений (1,1 млрд. т) в 26 раз.

8. Каково среднее соотношение биомассы Мирового океана и суши?

Более чем 1:200, а на единицу площади 1:500. Столь явное количественное преобладание биомассы на суше объясняется прежде всего обилием лесов, где древесина накапливается, не разрушаясь, столетиями. В океане же все растения в течение суток полностью съедаются.

9. Какие природные зоны являются рекордсменами на Земле по биологической продуктивности?

Влажные экваториальные леса Бразилии содержат до 150-170 кг фитомассы на 1 м² площади (в тундрах 1,2 кг, широколиственных лесах до 40 кг) с ежегодным приростом до 5-10 и даже 20 кг на 1 м². В саваннах на 1 м² содержится до 12-15 кг фитомассы с ежегодным приростом до 3 кг.

Рекордсмены продуктивности на Земле – травянисто-древесные заросли долинного типа, которые еще сохранились в дельтах Миссисипи, Параны, Ганга, вокруг озера Чад и в некоторых других районах. Здесь за год на 1 м² образуется до 30 кг органического вещества, что в 2-3 раза больше, чем в дождевых лесах и в 10 раз больше, чем в саваннах.

10. Все вещество растений океана обновляется в течение суток, а за какое время обновляется биомасса растений суши?

Биомасса растений океана представлена одноклеточными водорослями, которые почти все поедаются планктоном в течение суток.

Биомасса растений суши обновляется примерно за 14 лет или за 5110 суток.

11. Как вы думаете, сколько времени теоретически потребовалось бы одной особи одноклеточной бактерии или водоросли для заполнения объема Земного шара?

Холерный вибрион при благоприятных условиях делится каждые 20 минут, что за двое суток теоретически дает потомство от одной бактерии по весу в 4000 раз больше веса земного шара. Кишечная палочка из кишечника человека способна делиться каждые 15-18 минут и, вероятно, обгонит по интенсивности размножения холерную бактерию. Еще быстрее размножаются только вирусы.

Одна клетка диатомовых водорослей, размножаясь беспрепятственно, может за 8 суток дать количество вещества, равное по объему нашей планете, а в течение следующих суток удвоить этот объем.

Теоретически для достижения объема земного шара одноклеточной водоросли *Callionella ferruginea* потребовалось бы еще меньше времени, около 4 суток.

12. За сколько лет весь кислород атмосферы Земли оборачивается через живые организмы?

Примерно за 2000 лет.

13. Какова доля массы человечества к общей массе всех животных на Земле?

Общая масса живого вещества на континентах планеты составляет около 2420 млрд. т (в 7,5 раз больше массы воды в Азовском море). Из них 2400 млрд. т (99,2%) приходится на растения и всего лишь 20 млрд. т (0,8%) на животных и микроорганизмы.

Общая масса живого вещества в воде Мирового океана составляет 3,2 млрд. т. Из них на растения приходится всего лишь 0,2 млрд. т (6,3%), а на животных и микроорганизмы – 3 млрд. т (93,7%).

Масса 6,5 млрд. человек (2007 г.) около 250 млн. т, что составляет около 1,2% от массы всех животных и микроорганизмов (без растений) на Земле.

14. За сколько лет вся вода гидросферы Земли пройдет через фотосинтез и живые организмы?

За 2-6 млн. лет вся вода в гидросфере распадается и восстанавливается в живых организмах, другими словами, за последний миллиард

лет вся вода Земли не менее 300-500 раз была живой плотью, кислород атмосферы – не менее 1 млн. раз. Если учитывать, сколько воды пропущено через организмы при транспирации и при питье (без своего химического преобразования), то вся вода гидросферы побывала в живых тканях несколько миллионов раз.

Если бы вода, изъятая растениями при фотосинтезе, за время существования растительного покрова (600 млн. лет) не возвращалась путем разложения органики, потребовалось бы не менее 17 млрд. км³ воды, что в 12-13 раз превышает объем современного Мирового океана. Очевидно, что вода, связанная фотосинтезом, возвращается во влагооборот при разложении органики, иначе запасы воды в океане закончились бы в первые миллионы лет существования жизни (за 2-6 млн. лет вода исчезла бы, «осев» в мертвой органике).

15. С какой интенсивностью воспроизводится растительность – фитопланктон в Мировом океане?

Биомасса фитопланктона Мирового океана возобновляется практически ежедневно (≈ 366 раз в году), или, другими словами, ежедневно вся растительность океана поедается зоопланктоном (биомасса животных организмов почти в 200 раз превосходит биомассу всей растительности океана).

Ещё более интенсивно воспроизводятся только бактерии – до 1000 раз в год, или трижды в сутки (суммарная масса бактерий в столбе воды Тихого океана от поверхности до дна колеблется в пределах 0,6-6,6 г/м², однако огромная удельная поверхность способствует их высокой биохимической активности). Бактерии разлагают органические соединения до CO₂, нитратов, фосфатов и т. д.

16. В религиях индуизма и буддизма существует представление о реинкарнации – вечном перерождении жизни от одних форм в другие. Есть ли экологические основания для подобных представлений?

Время существования жизни на Земле около 3,5 млрд. лет. Если принять, что средняя продуктивность живой массы за это время равна 500 млрд. т в год, то всего за время существования жизни образовалось приблизительно 2×10^{12} млрд. т живого вещества, что всего лишь втрое меньше массы Земли. Масса биосферы около $1,4 \times 10^9$ млрд. т. Таким образом, продукция биоты за время существования Земли превосходит массу биосферы в 1000 раз. Это значит, что все атомы углерода на Земле (в земной коре) в среднем приблизительно 1000 раз становились

частью синтезируемого вещества, а затем столько же раз это вещество подвергалось деструкции. Таким образом, с точки зрения геохимии, реинкарнация является нормой жизни в биосфере.

17. Приведите примеры максимальной биологической продуктивности в различных частях земного шара.

Наибольшая биомасса травоядных млекопитающих в кг/га в Африке у оз. Киву – 235 кг, в Сахаре – 0,1, тундрах Канады – 8 кг/га.

Биомасса животных (в сухом виде) на 1 га морского дна: Средиземное море – 100 кг, Белое – 200 кг, Баренцево – 1000 кг, Берингово – 1650 кг, Азовское – 3210 кг, Северное – 3460 кг, прибрежные воды Антарктиды – 13470 кг/га.

Биологическую продуктивность океана можно оценить по рыбопродуктивности. Так, рыбопродуктивность 1 км² Атлантического океана – около 187 кг, Тихого океана – 134, Индийского – 25, Ньюфаундлендской банки – 1350, Северного или Японского морей – 2750, Чесапикского залива – 14000, Перуанского течения – 37200 кг.

ЛИТОСФЕРА

1. За 4 млрд. лет геологической истории Земли могла бы сформироваться осадочная толща мощностью в 120 км, однако средняя толщина земной коры сейчас всего 33 км, и в этой толще на долю осадочных пород (глина, песчаники, известняки) приходится менее 2% от рассчитанной выше, потенциально возможной массы. На континентах средняя толщина осадочных пород составляет всего 3 км, а в океане менее 0,7 км. Куда же исчезла огромная масса избыточной осадочной породы?

Эффективным механизмом превращения избытка осадочной породы в изверженную, метаморфическую и мантийную на протяжении всего времени существования Земли служит механизм подвига (субдукции) океанической коры, с накопленными на ней наносами под более легкую континентальную кору в зонах глубоководных желобов. Погружаясь, океаническая кора переплавляется, проходит сложные геохимические преобразования и наращивает континентальную кору за счет легких шлаков.

2. «Вода камень точит» – гласит народная мудрость. За какое время поверхностные воды способны «сточить» до уровня океана всю сушу Земли?

Учитывая, что средняя высота современной суши над уровнем моря составляет примерно 550 м (без покрытой льдом Антарктиды), можно подсчитать, что понадобится менее 10 млн. лет, чтобы полностью смыть всю сушу в океан. За время существования нашей планеты вода при современной интенсивности процессов смыва могла бы смыть сушу более 400 раз и не менее десятка раз заполнить весь океан продуктами размыва.

3. Какую горную породу В.Н. Вернадский назвал «белыми биосферами»?

Так учёный назвал граниты. Подавляющая часть гранитов на континентах рассматривается как древние осадочные формации, прошедшие процесс гранитизации – превращения в новую породу под влиянием высокой температуры, давления и даже переплавки.

4. Какие геосферные оболочки выделяют в литосфере и недрах планеты?

АСТЕНОСФЕРА (от греч. asthenes – слабый и сфера) – слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли. Отождествляется с Гутенберга слоем. Расположен на глубинах около 100 км под континентами и около 50 км под дном океана.

БАРИСФЕРА (греч. βαρυς – тяжёлый, σφαῖρα – шар) – внутренняя часть Земли, включающая ядро и промежуточную оболочку, или мантию. Центральная область планеты с глубины 2 900 км от поверхности. Иногда под барисферой понимают только ядро Земли.

ЗЕМНАЯ КОРА – внешняя твёрдая оболочка Земли (геосфера). Ниже коры находится мантия, которая отличается составом и физическими свойствами – она более плотная, содержит в основном тугоплавкие элементы. Разделяет кору и мантию граница Моховичича (на глубине 5-70 км), на которой происходит резкое увеличение скоростей сейсмических волн. С внешней стороны большая часть коры покрыта гидросферой, а меньшая находится под воздействием атмосферы. Кора составляет лишь 0,473% общей массы Земли.

ЛИТОСФЕРА (от греч. λίθος – камень и σφαῖρα – шар, сфера) – твёрдая оболочка Земли. Состоит из земной коры и верхней части мантии, до астеносферы, где скорости сейсмических волн понижаются, свидетельствуя об изменении пластичности пород. Блоки литосферы – литосферные плиты – двигаются по относительно пластичной астеносфере. Литосфера под континентами состоит из осадочного, гранитного и базальтового слоев общей мощностью до 80 км. Литосфера под

океанами претерпела множество этапов частичного плавления в результате образования океанической коры, она сильно обеднена легкоплавкими редкими элементами, её толщина составляет 5-10 км, а гранитный слой полностью отсутствует.

МАНТИЯ – часть Земли, от земной коры и до границы с ядром (от 30 до 2900 км в глубину). В мантии находится большая часть вещества Земли (67% массы планеты).

СТРАТИСФЕРА – слой литосферы, лежащий выше метаморфической оболочки, где возможно существование некоторых форм жизни. Сложена осадочными и бывшими осадочными (метаморфическими породами) до глубины в 30 км.

ЯДРО ЗЕМЛИ – центральная, наиболее глубокая часть планеты Земля, геосфера, находящаяся под мантией Земли и, предположительно, состоящая из железо-никелевого сплава (на 90%) с примесью других сидерофильных элементов. Глубина залегания – 2900 км. Средний радиус сферы – 3,5 тыс. км. Разделяется на твердое внутреннее ядро радиусом около 1300 км и жидкое внешнее ядро радиусом около 2200 км, между которыми иногда выделяется переходная зона. Температура в центре ядра Земли достигает 5000°C, плотность около 12,5 т/м³.

ДАЛЕКОЕ ПРОШЛОЕ ЗЕМЛИ

1. *Какая катастрофа, безусловно, является самой грандиозной и беспрецедентной в истории Вселенной?*

Рождение Вселенной в процессе «*Большого взрыва*» – самая грандиозная мировая катастрофа. Около 13-15 млрд. лет назад, как считает большинство ученых, зародилась Вселенная. До этого она была сжата в исключительно плотную и невероятно горячую точку. Эта Вселенная-младенец была слишком горяча и слишком наполнена энергией, чтобы пребывать в прежнем ограниченном объеме. Произошла вспышка, и Вселенная устремилась во все стороны. За секунду Вселенная уже достигла размеров нашей Солнечной системы. В этот момент она в миллион раз горячее центра Солнца. При этом возникают частицы, образующие атомы. Через 5 минут образуются протоны и нейтроны, а из них синтезируются ядра первых атомов дейтерия и гелия. Через миллион лет сформировались газ, звезды, галактики. Через 8-10 млрд. лет появилась Солнечная система и наша Земля. Благодаря первоначальному импульсу наша галактика до сих пор имеет скорость относительно фонового излучения около 600 км/с, при этом Земля участвует во вращении вокруг центра Галактики со скоростью 250

км/с и во вращении вокруг Солнца со скоростью 30 км/с. Следствием «Большого взрыва» является видимое расширение Вселенной и отдавление Галактик друг от друга.

2. Каким образом ученые определяют возраст Земли и других планет Солнечной системы?

Радиоактивность дает нам ценную информацию относительно возраста твердых тел Солнечной системы и возраста химических элементов. Изучение соотношений изотопов Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} в земной коре и метеоритах позволило произвести расчет возраста Земли, который оказался равным $4,6 \pm 0,05$ млрд. лет. Кроме того, изучение соотношения $\text{Pb}^{207} / \text{Pb}^{206}$ как функции длительности существования изотопов урана $\text{U}^{235} / \text{U}^{238}$ показало, что возраст урана в Солнечной системе недалек от 5 млрд. лет.

Возраст радиоактивных ядер в Солнечной системе не более 4,8 млрд. лет. Эта величина выражает длительность существования Солнечной системы, так как в современных условиях в её телах невозможен синтез изотопов I^{129} и U^{238} . Иначе говоря, накануне образования Земли и других планет солнечной системы в недрах умирающей звезды (пряматери нашего мира) завершился естественный синтез тяжелых радиоактивных ядер. Образование наиболее тяжелых ядер тория, урана, трансурановых элементов произошло непосредственно перед образованием планет Солнечной системы.

3. Какой ученый высказал гипотезу о формировании Земли и других планет Солнечной системы из вращающегося газопылевого облака?

Французский академик **Пьер Лаплас** в 1796 г. высказал гипотезу о формировании солнечной системы из газопылевого облака. Когда Наполеон заметил ученому, что в изложении системы мира нигде не упоминается о Боге, Лаплас ответил: «Я не нуждаюсь в этой гипотезе». Да, в отличие от многих предшествующих его теория происхождения Земли и других планет не опиралась на церковные догмы. Позднее её стали называть теорией Канта-Лапласа. Ученые обнаружили в одной из старых книг подобное предположение о происхождении планет. Правда, в ней утверждалось: космическая туманность возникла не из раскаленных газов, а из холодных частичек. Это предположение сделал в 1755 г. немецкий философ **Иммануил Кант**. Но Лаплас об этой книге ничего не знал.

4. Какие космические катастрофы привели к появлению Солнечной системы, и в том числе Земли?

Массивная звезда заканчивает свою эволюцию формированием ядра, состоящего только из железа и никеля, т. е. элементов с наименьшей внутренней энергией ядерных связей протонов и нейтронов в атомных ядрах. В результате в ядрах массивных звезд, прошедших свой эволюционный путь, полностью прекращаются все ядерные реакции, перестает вырабатываться тепловая энергия, препятствующая их сжатию, и они под влиянием уже ничем не сдерживаемых сил тяготения начинают стремительно сжиматься (коллапсировать). Под влиянием гигантских давлений, возникающих во время коллапса, электроны как бы «вжимаются» в ядра железа, превращая протоны в нейтроны, а само ядро звезды – в сплошной «сгусток» нейтронов или даже в «черную дыру». Процесс коллапса сопровождается «обрушением» газовой оболочки звезды с резким возрастанием температуры и давления газа в оболочке. Но в противоположность железному ядру коллапсирующей звезды в ее оболочке еще сохраняется много водорода, гелия, углерода, кислорода, магния, кремния и других элементов, способных участвовать в реакциях ядерного синтеза. К тому же вещество звездной оболочки в это время интенсивно облучается нейтронными потоками из ядра. В результате за считанные минуты, а то и секунды в оболочке коллапсирующей звезды выделяется столько же энергии, сколько ее могло бы выделить за многие миллионы лет эволюционного (обычного) развития такой звезды. Выделение колоссальной энергии в нижних частях звездной оболочки приводит к взрыву звезды и сбрасыванию ее оболочки (из массы всех элементов таблицы Менделеева, их изотопов, и в том числе из тяжелых и радиоактивных элементов) в межзвездное пространство. Преобразованное вещество оболочки стремительно разлетается в стороны, а на месте бывшей нормальной звезды остается маленькая, но очень плотная нейтронная звезда (с колоссальной плотностью 100 млн. т/см^3) – пульсар или даже «черная дыра».

Рассеянное вещество от многих взорвавшихся звезд постепенно формирует в галактиках межзвездные газопылевые облака. Когда масса такого облака (в его сгустках) достигает некоторой критической величины, начинается процесс самогравитации облака, его уплотнения, разогрева и конденсации в новую звезду. За время существования Вселенной уже сменилось несколько поколений звезд, рассеявших свое вещество в межзвездное пространство. Исходным материалом для

формирования каждой новой генерации звезд служило вещество, сброшенное предыдущим поколением сверхновых звезд.

Согласно современным космогоническим представлениям, заложенным О.Ю. Шмидтом, планеты Солнечной системы, в том числе Земля и Луна, образовались за счет аккреции (взаимного гравитационного притяжения) твердых частиц газопылевого облака. Обычно исходная плотность межзвездных облаков недостаточна для гравитационного сжатия и развития в них процессов звездо- и планетообразования. Однако взрывы сверхновых звезд сопровождаются возникновением в межзвездной среде ударных волн. Если такие волны пересекают газопылевые облака, то на их фронте резко повышаются давление и плотность вещества, в результате чего могут возникнуть сгущения, способные в дальнейшем к сжатию уже за счет самогравитации.

Нахождение в метеоритах следов распада некоторых короткоживущих изотопов элементов, например ^{244}Pu , ^{129}I , ^{26}Al , свидетельствует о том, что незадолго перед образованием Солнечной системы произошли взрывы, по крайней мере, двух сверхновых звезд, причем последний из этих взрывов скорее всего послужил непосредственным толчком к началу формирования из межзвездного облака Солнца и его планетной системы. Взрывы сверхновых звезд не только поставляют новое вещество в космическое пространство, но и служат тем механизмом, который в конце концов приводит к формированию новых поколений звезд и окружающих их планетных систем [Свиточ, 2004].

Таким образом, Земля, Солнце и все планеты Солнечной системы *есть результат взрыва старой массивной звезды – «пепел звезд»* и еще одного взрыва, способствовавшего уплотнению этого «пепла» до протопланетного газопылевого облака.

5. Что было с веществом Земли до формирования планеты, т.е. 4-5 млрд. лет назад и ранее?

По расчётам астрофизиков, вещество, из которого сформировалась Земля, *«варилось» в недрах звёзд*. В одной из звёзд по мере расходования водорода температура в центре повышается до 50 млн. градусов, и начинается «горение» гелия. Гелий в результате термоядерных реакций превращается в углерод. В дальнейшем в центре звезды создаются всё более тяжёлые химические элементы, вплоть до железа.

Механизм синтеза элементов, составляющих нашу планету и нас в том числе, выглядит примерно следующим образом. По мере «выгорания» протонов (ядер атомов водорода) давление внутри звезды уменьшалось, и она начинала вновь сжиматься, что вызвало рост плотности

и температуры. При плотности 100 кг/см^3 и температуре 100 млн. градусов стали возможны столкновения более тяжелых частиц и синтез следующих элементов: $\text{He} + \text{He} \rightarrow \text{Be}$, $\text{Be} + \text{He} \rightarrow \text{C}$, $\text{C} + \text{He} \rightarrow \text{O}$, $\text{O} + \text{He} \rightarrow \text{Ne}$. Далее плотность в недрах звезды достигала 1000 кг/см^3 , и температура составляла 1 млрд. градусов, что привело к синтезу следующих элементов: $\text{C} + \text{He} \rightarrow \text{N}$, $\text{C} + \text{C} \rightarrow \text{Mg}$, $\text{N} + \text{N} \rightarrow \text{Si}$, $\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{S}$. Новое сжатие с достижением чудовищной плотности в 3000 кг/см^3 и температуры до 3 млрд. градусов (при подобной плотности вещество тел 50 взрослых человек могло быть помещено в кубик со стороной в 1 см) привело к синтезу металлов железной группы: $\text{Si} + \text{Si} \rightarrow (\text{Co}, \text{Fe}, \text{Ni})$. Реакции между другими ядрами привели к образованию всех остальных элементов, занимающих позиции между серой и группой железа (Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn и др.). На более поздних этапах сжатия образовались более тяжелые элементы, вплоть до радиоактивных – тория и урана.

Дальнейшее развитие звезды привело к *гигантскому взрыву* (сверхновая), при котором звездное вещество в огромном количестве выбросилось в пространство, образуя облака космического газа и пыли. Эти пылегазовые образования постепенно *сгустились*, распадаясь на отдельные фрагменты, которые под действием тех же гравитационных сил уплотнялись и со временем приобретали сферическую, характерную для планет форму.

В результате сжатия вещество в протопланете расплавилось, что привело к *расплавлению расплава*: более плотная и тяжелая его часть, устремилась к центру планеты (Fe, Ni), а более легкие элементы, представленные в основном силикатами, образовали мантию, а самая верхняя и тонкая часть оболочки (литосфера) имела наименьшую плотность и содержала алюмосиликаты и другие элементы с небольшим атомным весом.

За последующие несколько миллионов лет поверхность планеты остыла и образовалась хрупкая и очень твердая оболочка – земная кора. Температура на поверхности Земли приблизилась к современной. Дифференциация вещества в мантии привела к бурной вулканической и тектонической деятельности, что сформировало атмосферу и гидросферу, а 3,6 млрд. лет назад появилась жизнь на Земле на основе биологически активных элементов (животные состоят из: O – 83,94%, H – 10%, Ca – 2,45%, C – 1,67%, P – 1,1%, N – 0,18%, Cl – 0,16%, S – 0,14%, Na – 0,1% и др.).

Таким образом, в звездную стадию были синтезированы элементы, слагающие Землю и в том числе человека.

Смотря на Солнце или звёздное небо, надо понимать, что мы – люди как совокупность определённых химических элементов были в недрах одной из подобных звёзд и непосредственно участвовали (каждым атомом своего тела) в термоядерных реакциях. Можно сказать, что все мы – «дети звезд».

6. Как в общих чертах выглядел климат Земли в первые миллионы лет своего существования?

За начало эволюции земной атмосферы нужно принять очень холодную, тонкую атмосферу. Поскольку эта атмосфера имела ничтожную массу, температурные условия на поверхности Земли должны были полностью определяться лучистым равновесием, т. е. равновесием между поступающей солнечной энергией и лучистой энергией, излучаемой поверхностью в космическое пространство. Были рассчитаны температуры поверхности Земли в полдень и в ночное время. При расчетах принималось, что светимость Солнца равнялась современной, наклон оси вращения составлял 10° от вертикали, альbedo в 7% (как альbedo Луны).

Оказалось, что в подсолнечной точке температура поверхности на экваторе равна $+117^\circ\text{C}$, а на ночной стороне Земли -242°C , т. е. перепад температуры составлял до 360° . Когда масса атмосферы была в 100 раз меньше современного уровня (примерно, как сейчас на Марсе), то она нагревалась в течение суток более чем на 100° . Скорости ветра на Земле и разности температур между экватором и полюсами должны были быть вдесятеро больше современных, т. е. ветры были очень сильными, а на полюсах было чрезвычайно холодно. Ветры были также сильными и по причине более быстрого осевого вращения Земли, из-за чего сила Кориолиса была выше.

По мере разогревания недр Земли стал проявляться вулканизм, который стал источником газов для атмосферы и гидросферы. В дальнейшем по мере увеличения массы гидросферы и атмосферы климат становился более теплым и менее контрастным (Монин, 1979). Этой же точки зрения придерживается и А.П. Виноградов, полагая, что Земля первоначально была холодным телом и только после распада радиоактивных элементов в недрах с выделением тепла и плавлением недр на поверхность стали прорываться пары воды и газы, сформировавшие первичную атмосферу.

Однако есть гипотеза, согласно которой Земля в момент формирования претерпела этап плавления своих внешних оболочек. Согласно этой гипотезе вся поверхность Земли представляла собой океан раска-

ленного расплава с прорывающимися из него газами. В этот своеобразный океан продолжали стремительно врезаться как малые, так и крупные космические тела, удары которых о жидкую поверхность вызывали образование всплесков, фонтанов. Над раскаленным силикатным океаном простиралось сплошь укутанное густыми тучами небо, с которого на поверхность не падало ни капли воды.

В лунную фазу существования Земля постепенно охлаждалась от температуры плавления базальтов (+800-+1000 °С) до +100 °С. В составе вулканических газов преобладала вода – до 70-80% объема и углекислый газ – до 6-15%, а также примеси HCl, HF, H₂S, SO₂, NH₃ и др. Следовательно, в фазу расплавления внешней среды Земли атмосфера состояла в основном из водяного пара с существенной примесью углекислого газа. Дж. Уолке (1980) назвал водяную атмосферу «примитивной паровой атмосферой». Имеются все основания полагать, что в фазу расплавления внешней сферы земного шара водяной пар, охлаждаясь на большой высоте, образовывал густой облачный покров и интенсивные дождевые осадки, которые не долетали до Земли, превращаясь в пар. Облачный покров был настолько мощным и непроницаемым для солнечных лучей, что на поверхности Земли царил мрак. Бескислородная атмосфера с примесью кислот и температурой выше +100 °С была очень агрессивной.

После охлаждения поверхности до температуры ниже +100 °С пар перешел в жидкую воду. Из водной атмосфера стала в основном углекислой. Однако океан быстро поглотил CO₂, переведя его в осадки, и атмосфера стала менее плотной, в основном азотной.

Только с появлением жизни атмосфера стала азотно-кислородной, близкой к современной (Кривоуцкий, 1985).

Еще по одной из гипотез в первые сотни миллионов лет существования Земли Луна вращалась вокруг Земли по орбите с радиусом примерно 25 тыс. км, что в 15 раз ближе, чем в настоящее время. Видимая площадь диска Луны была в 300-350 раз больше современной, и так как Луна была горячей планетой, то диск светился темно-красным светом и даже обогревал Землю. Близость к Земле приводила к тому, что амплитуда лунных приливов достигала 1,5 км! (в настоящее время для земной коры всего 45 см). Лунные приливы каждые 18-20 часов буквально потрясали земной ландшафт.

Примерно 4 млрд. лет назад недра Земли стали плавиться, что в сочетании с приливными взаимодействиями привело к ускоренному отделению Луны от Земли.

7. Какие газы доминировали в атмосфере «новорожденной» Земли?

Гарольд Ури выдвинул подробное доказательство в пользу гипотезы, что первоначально атмосфера состояла из аммиака и метана. Водород, гелий, углерод, азот и кислород являются преобладающими элементами во Вселенной, с явным доминированием водорода. При подобном преобладании водорода в паре с углеродом образовался метан (CH_4), с азотом образовался аммиак (NH_3), а с кислородом – вода (H_2O). Гелий и избыточный водород – как легкие газы, покидали атмосферу. Вода формировала океаны; метан и аммиак как сравнительно тяжелые газы удерживались силой земного тяготения и потому составляли главную часть атмосферы. Однако ультрафиолетовое излучение, ударяя по молекулам воды в верхних слоях атмосферы, разделяло их на водород и кислород (фотодиссоциация).

Водород покидал атмосферу, оставляя свободным кислород. Однако кислород очень активен и тут же вступал в реакцию с метаном, образуя CO_2 и H_2O , и с аммиаком, образуя азот и воду. С появлением жизни на Земле избыток CO_2 был выведен фотосинтезом из атмосферы, обогатив литосферу карбонатами, углем и другими горючими ископаемыми, а атмосферу – кислородом. Фактически наша насыщенная кислородом атмосфера существует у Земли только на протяжении 1/10 времени существования Земли, и даже 600 млн. лет назад кислорода было в ней всего 1/10 его нынешнего количества. Но сейчас мы имеем этот кислород и должны быть благодарны жизни, которая сделала возможным существование свободного атмосферного кислорода, и за жизнь, которую такой свободный кислород сделал возможной.

Американские исследователи, основываясь на спектроскопических наблюдениях с космического корабля «Аполлон-16», пришли к заключению: у Земли есть еще один «родник» кислорода – водяные пары, которые в верхних слоях атмосферы под действием ультрафиолетового излучения разлагаются на кислород (источник озона) и водород (который улетучивается в космос). Ученые не исключают, что, может быть, таким путем кислорода выделяется больше, чем его вырабатывает вся зелень планеты.

8. Из каких газов могла состоять первичная атмосфера Земли?

Первичная атмосфера Земли имеет восстановительный характер и была практически лишена свободного кислорода и только незначительные его доли формировались под влиянием солнечных лучей в результате фотодиссоциации паров H_2O в верхней атмосфере.

В какой-то мере первичная атмосфера Земли могла быть аналогична современной атмосфере Венеры – планеты, которая по своим размерам наиболее близка к нашей Земле. Количество CO_2 в атмосфере Венеры 98% и столько же, вероятно, было (98%) его и атмосфере Земли. Вторым газом был азот (N_2), которого в Венере 1,8%, в воздухе Земли было 1,5%.

Современная атмосфера Венеры в 88 раз тяжелее современной земной, но и земная древняя атмосфера, по расчетам могла быть в 70 раз тяжелее современной. Появление жизни перевело углекислоту в залежи карбонатов, угля и других осадочных пород.

9. В ранние периоды истории Земли светимость Солнца была несколько ниже современного уровня, однако климаты прошлого были в основном теплее современных. Как ученые объясняют данное противоречие?

В начале фанерозоя (около 600 млн. лет назад) светимость Солнца была меньше ее современного значения приблизительно на 3%, тогда как по расчетам уменьшение притока солнечной радиации на 1% понижает температуру нижней атмосферы приблизительно на 1,5 °C. В более раннее время, несколько миллиардов лет назад, эта разность была еще больше, и, по-видимому, в начале истории Земли (4,5 млрд. лет назад) Солнце выделяло энергии на 25% меньше современного уровня. Тем не менее средняя температура воздуха на протяжении основной части фанерозоя была выше современной (в середине мелового периода на 10-15 °C выше современного уровня).

Относительно теплые климаты отдаленного прошлого, по-видимому, объясняются гораздо большим количеством CO_2 в древней атмосфере по сравнению с современной, что существенно усиливало парниковый эффект. По ряду расчетов CO_2 было в 10-100 раз больше современного количества. В прошлом недра Земли более активно выбрасывали CO_2 в атмосферу из-за большего, чем ныне, уровня выделения энергии радиоактивными элементами, поскольку их тогда было больше (кстати, избыток углекислого газа в прошлом позволил Земле накопить запасы угля, нефти, газа, карбонатов). Примерно 100 млн. лет назад процесс дегазации мантии стал сокращаться, и количество CO_2 в атмосфере стало уменьшаться.

Таким образом, снижение вулканической активности мантии создало тенденцию к понижению средней температуры в нижней атмосфере Земли, несмотря на увеличение светимости Солнца [Будыко, 1986].

10. Когда на Земле стало возможным появление многоклеточных форм жизни и как это связано с химической эволюцией планеты?

В первичном веществе Земли содержалось около 13% свободного (металлического) и около 24% двухвалентного железа. К рубежу протерозоя и фанерозоя (570 млн. лет назад) все это железо и большая часть его оксидов уже переместились в земное ядро. Но в докембри это металлическое железо, благодаря конвективным движениям мантии, еще поступало в рифтовые зоны Земли, где оно контактировало с океаническими водами, окислялось в них до двухвалентного железа и разносилось по всем акваториям океана. Поглощая кислород из океанических вод и атмосферы, двухвалентное железо переходило в трехвалентное состояние и осаждалось в виде гигантских залежей докембрийских железорудных формаций. В результате содержание O_2 в докембрийской атмосфере оставалось исключительно низким и не превышало $10^{-6} - 10^{-9}$ атм. Однако с постоянным переходом металлического железа и его оксидов из мантии в ядро давление O_2 постепенно повышалось.

Как только металлическое железо из мантии исчезло (перешло в ядро), в атмосфере повысилось содержание кислорода (около 600-700 млн. лет назад), что сделало возможным появление многоклеточных форм жизни, для которых характерен активный обмен веществ с использованием кислородного дыхания. Важно отметить, что время достижения кислородным давлением уровня Пастера (10^{-2} от современного уровня) и появления первых многоклеточных животных почти совпадает с моментом полного исчезновения из мантии металлического железа – главного поглотителя свободного кислорода во внешних геосферах Земли [Свиточ, 2004].

11. Что означают названия геологических периодов развития Земли?

Кембрийский период (570-500 млн. лет назад) назван в честь кембрийских гор в Англии.

Ордовикский период (500-410 млн. лет назад) – по имени ордовиков, живших в древности в Уэльсе (Англия).

Силурийский период (430-310 млн. лет) носит имя силуров, населявших тот район Уэльса, где эти слои были впервые описаны (выход из моря многоножек, скорпионов на сушу, появились панцирные рыбы, выход растений на сушу).

Девонский период (405-350 млн. лет) обязан своим названием графству Девоншир (Англия), где были впервые описаны эти слои (появление плаунов, аммонитов, насекомых, двоякодышащих рыб и амфибий – стегоцефал).

Карбоновый период (350-285 млн. лет) назван по богатым каменным углём слоям в осадках, открытых в Англии (обилие лесов папоротников и хвощей, обилие насекомых – тараканы, меганевра – гигантская стрекоза).

Пермский период (285-230 млн. лет) назван в честь Пермской губернии, где соответствующие слои выделил Д. Соколов (появление крупных земноводных, звероподобных пресмыкающихся).

После **Палеозойской** эры (эры древней жизни) начался **Мезозой** (эра средней жизни).

Триас (230-195 млн. лет) – первый период мезозойской эры, был назван так, потому что в осадках этой системы, обнаруженной в Германии, было три слоя.

Юрский период (195-137 млн. лет) назван по месту открытия слоев в Юрских горах Восточной Европы (крупные ящеры – бронтозавры, ихтиозавры, археоптерикс и др.).

Меловый период (110-70 млн. лет) назван по слоям белого мела в Европе (появление цветковых растений, эпоха динозавров, в том числе тиранозавров, появление зверей и гибель динозавров в конце периода).

Кайнозойская эра (с греч. «эра новой жизни») подразделяется на **палеоген** (67-25 млн. лет) и **неоген** (25-1 млн. лет), что означает, соответственно, эра древнего и нового рождения (расцвет млекопитающих, птиц, цветковых растений). В настоящее время мы проживаем в четвертичном периоде или **антропогене** (время рождения человека), начавшегося около 2,5 млн. лет назад.

12. Какая средняя температура была у поверхности Земли в протерозое – 1,8 млрд. лет назад?

По соотношению изотопов кислорода ученые определили, что среднегодовая температура тогда была около +35 °С, а в мезозое, 230 млн. лет назад, около +20 °С, в меловом периоде поднималась до +22 °С, тогда как в настоящее время составляет +15 °С.

В разгар ледникового периода (18 тыс. лет назад) температура опускалась от современной всего на 3-5°С и составляла +10-+12 °С.

13. Если бы все материки Земли сместить в сплошной суперматерик, пересекаемый посередине экватором, как это могло бы отразиться на средней температуре воздуха на Земле?

Расположение единого суперконтинента по обе стороны экватора могло бы повысить температуру на планете на 10 °С по сравнению с современной. Из-за смещенности материков к полюсам альbedo Земли повысилась, что способствует ее охлаждению. Единый суперконтинент Пангея действительно располагался по обе стороны экватора в мезозое, одной из самых теплых эпох фанерозоя.

Предполагают, что огромные запасы угля в Северной Америке и Евразии были накоплены благодаря приэкваториальному положению этих материков в палеозое, тогда как Южная Америка, Африка, Австралия, Антарктида были в основном в умеренных и приполярных широтах на окраинах Пангеи.

14. Когда на Земле был самый длительный ледниковый период?

Геологические свидетельства указывают на то, что 2,3-2,4 млрд. лет назад ледниковый период длился около 70 млн. лет. Возможно, в то время наша планета была полностью покрыта слоем льда толщиной до 1 км.

460-420 млн. лет назад в разгар позднеордовикского-раннесилурийского периодов толщина льда в Африке в Сахаре достигала 3 км.

По одной из гипотез В. Харланда и Дж. Киршвика, одно из самых мощных оледенений произошло 330-245 млн. лет назад и длилось около 150 млн. лет во время формирования праматерика Палеопангеи. Активность вулканов была столь велика, что под пеленой пепла и газов похолодало и началось оледенение, дошедшее до экватора. В разгар оледенения средняя температура Земли опускалась до -40 °С. Обледеневшая Земля за счет высокого альbedo не могла уже разогреться.

По мнению австралийского ученого Киршвика, растопили лед те же вулканы. Пепел уменьшал альbedo, CO_2 , в огромном количестве поступивший в атмосферу, привел к парниковому эффекту. При этом в разгар потепления температура на Земле достигла +50 °С.

Оледенения стимулировали биологическое видообразование, усиливая естественный отбор, а без четвертичного оледенения, по мнению ученых, не появился бы и человек.

15. Какой максимальной толщины достигал ледник при четвертичном оледенении?

Над Новой Землей до 4 км, над Скандинавией до 3,5 км, примерно столько же и в Северной Америке, средняя мощность ледника была около 650 м.

Покровный ледник времен четвертичного оледенения в Европе около 20 тыс. лет назад, был похож на блин диаметром около 2000 км и толщиной в 3,4 км. При этом Швеция, Финляндия, Дания, Прибалтика находились под слоем льда со средней толщиной в 2-3 км. На периферийных краевых участках ледник был толщиной в 30-50 м (для наблюдателя край ледника выглядел бы стеной высотой в 10-15 этажей). Средняя температура над центральными частями ледника достигала -46°C , что аналогично температурам над центральными частями Антарктиды.

16. Где в ледниковый период более 10 тыс. лет назад площадь ледников была больше, в южном или северном полушарии?

Площадь покровных ледников в северном полушарии достигала 23-25 млн. км², а в Антарктиде площадь была примерно такой же, как и в настоящее время – 13,5 млн. км², или в 2 раза меньше, чем в северном полушарии. 18 тыс. лет назад крупнейшими ледниками были: Антарктический площадью 14 млн. км², Канадский – 13,2, Скандинавский – 10-12, Урало-Сибирский – 4,5, ледники Кордильер – 2,6, Гренландии – 2,2 млн. км² общей площадью 48 млн. км² (как 7 площадей Австралии).

Площадь суши была на 27 млн. км² больше современного уровня, уровень океана соответственно на 130 м ниже. В настоящее время площадь ледников в северном полушарии в 7 раз меньше, чем в южном.

Максимальный объем льдов суши в плейстоцене составлял около 55 млн. км³, в том числе 23,9 млн. км³ в Антарктиде (почти как и в настоящее время), 23,9 км³ – в Северной Америке, 7,6 млн. км³ – в Европе и 0,7 млн. км³ – на Урале и Сибири. Около 60% всех льдов было сосредоточено в северном полушарии и 40% в южном, тогда как в настоящее время это соотношение равно 8% и 92% соответственно.

17. Какой учёный впервые озвучил теорию об оледенении Европы, став автором ныне общепризнанной теории ледниковых периодов в истории Земли?

В 1873 г. в швейцарском городке Невштале Луи Агассис сделал доклад о том, что некогда Европа была покрыта мощным слоем льда,

этот период он назвал «ледниковым». Доклад многих шокировал и вызвал фурор в среде геологов и неприятие этой гипотезы.

До оглашения этой «ледниковой» гипотезы в науке господствовала теория катастрофизма, согласно которой окаменелые останки, которые извлекали геологи из Земли, были погребены Всемирным потопом. Всемирному потопу приписывали распространение в Северной и Средней Европе валунов и масс обломков горных пород.

18. Назовите основные гипотезы, объясняющие происхождение ледниковых периодов в истории Земли?

С 1837 г., т. е. со времени Невшталевского трактата Агассиса, для объяснения оледенений были предложены десятки теорий.

Одна из первых предполагала, что ледниковый период явился следствием сокращения энергии, поступавшей на землю от Солнца.

Другая теория предполагает, что климатические изменения, приводившие к оледенениям Земли, были обусловлены неравномерным распределением частиц пыли в космическом пространстве (при этом повышенное содержание пыли, по одному из взглядов, уменьшает солнечную радиацию, а по другому, наоборот, пыль усиливает свечение Солнца и повышает облучение Земли).

Одна из теорий связывала оледенения с изменениями концентрации CO_2 в атмосфере. Снижение содержания CO_2 приводит к оледенению, повышение – к потеплению.

Одна из теорий связывает периоды оледенений с повышением вулканической активности, при которой атмосфера загрязняется пылью и аэрозолями, отражает лучистую энергию солнца в космос, вызывая похолодания климата.

Согласно ещё одной теории, разработанной в XIX в. Чарлзом Лайелем, причиной оледенений были вертикальные движения земной коры. Эта теория учитывала, что общий подъём материков должен был вызвать снижение температур. По мнению Джеймса Дэна, подъём дна океана на севере Атлантики отрезал Арктику от тёплых течений и спровоцировал оледенение.

Новозеландский учёный Алекс Уилсон в 1964 г. предположил, что первопричиной похолодания были внезапные спуски крупных частей Антарктического ледникового покрова в океан. Огромные массы льда, сброшенные в океан (например, при землетрясении), повышали из-за обилия айсбергов альбедо Южного океана. По теории Юинга и Донна (1956 г.), освобождение Арктики от паковых льдов (увеличивает площадь испарения, а значит, и снегопадов) провоцировало начало оледе-

нения. Достигнув максимального оледенения, Северный Ледовитый океан замерзал, лишив ледник осадков, и начиналось таяние.

Согласно теории Аделара (1842 г.) оледенение было следствием нарушений в движении Земли вокруг Солнца. По одной гипотезе, глобальные периоды оледенений в истории Земли были обусловлены дрейфом литосферных плит. Согласно данной гипотезе, в периоды, когда у полюсов сосредоточивались значительные массивы суши, начались оледенения. Самые тёплые периоды в истории Земли соответствуют периодам отсутствия материков у полюсов.

Из-за прецессии (вращение земной оси по кругу за 26000 лет) зима в северном полушарии на 7 дней короче, чем в южном, а 13000 лет назад было наоборот, из-за чего якобы было оледенение. Французский астроном Леверье в 1864 г. предположил, что на климат и оледенение оказывает влияние форма земной орбиты (эксцентриситет), которая то имеет форму эллипса, то становится почти круглой, т.е. вытянутой и яйцеобразной (из-за влияния других планет Солнечной системы). Если зимы в северном полушарии приходились на периоды максимального удаления от солнца во время вытянутой орбиты, наступали оледенения.

По гипотезе Кроля (1875), развитию оледенений благоприятствовали минимальные углы наклона оси, так как с её приближением к вертикали количество солнечного тепла, поступающее в полярную область, должно уменьшаться (наклон оси ныне по отношению к вертикали $23,5^\circ$, и периодически он меняется на $\pm 1,5^\circ$ до минимума 22° (оледенение) и до максимума в 25° (потепление).

По гипотезе югославского учёного *Миланковича* (1924), оледенения начинались когда из-за уменьшения наклона оси, лето в северном полушарии приходилось на периоды афелия (максимального удаления от Солнца), из-за чего в северных широтах инсоляция уменьшалась настолько, что снега и льды не успевали растаять за лето и начиналось их накопление. В настоящее время наиболее признанной считается астрономическая теория, разработанная Куклой и Месолелой, в основе которой лежат расчёты Миланковича.

Таким образом, циклические изменения наклона оси формы орбиты и прецессии (с цикличностью в 23000 (для прецессии) и 41000 лет (для изменения наклона оси вращения), а также 100000-летний цикл изменений эксцентриситета являются спусковым механизмом оледенений.

19. Между какими материками 35 млн. лет назад, по мнению ряда ученых, появился пролив, приведший к глобальному похолоданию на Земле и началу оледенения Антарктиды?

Отделение Австралии от Антарктиды 35 млн. лет назад создало прообраз циркумполярного течения вокруг Антарктиды. Южная Америка в то время была еще соединена с Антарктидой. Воды, идущие вокруг Антарктиды, стали сильно охлаждаться, что способствовало оледенению, а 12 млн. лет назад сформировался пролив Дрейка между Америкой и Антарктидой, что создало современную циркуляцию в южном полушарии и еще больше охладило воды вокруг Антарктиды.

Появившись, ледяной панцирь увеличил альbedo планеты и понизил уровень Мирового океана не менее чем на 60 м, что увеличило площадь суши, у которой альbedo выше, чем у воды. Таким образом, около 35 млн. лет назад планетарная температура стала понижаться и опустилась со временем не менее чем на 10°, что увеличило засушливость, появилась пустыня Сахара, пальмы с берегов Охотского и Карского морей исчезли, начали формироваться сухие степи на юге Русской равнины.

ВОЗМОЖНОЕ БУДУЩЕЕ ЗЕМЛИ

1. Как изменится климат Земли в ближайшие несколько тысячелетий?

Исходя из астрономической теории оледенения (прогноз изменения наклона оси, эксцентриситета орбиты и цикла прецессии), через 23000 лет наступит кульминация очередного оледенения с падением глобальной температуры до +12°C, что на 3° ниже современной.

Однако в ближайшее тысячелетие возобладают тенденции к потеплению из-за антропогенной эмиссии CO₂. После сжигания всех запасов углеводородного топлива и угля атмосфера освободится от излишков CO₂ и наступит эпоха 22000-летнего направленного похолодания с наступлением оледенения. При сохранении современных тенденций использования горючих ископаемых запасов всех видов ископаемого топлива хватит не более чем на 1-2 тыс. лет.

2. Как изменится климат Земли через несколько миллиардов лет?

По расчетам Г. Макдональда, через 4,9 млрд. лет наклон плоскости экватора к эклиптике будет составлять 66,7°, а не 23,5°, как в настоящее время, а земные сутки практически сравнятся с месяцем. По законам небесной механики дальнейшее замедление вращения Земли

повлечет за собой уменьшение скорости движения Луны по орбите и увеличение расстояния между Землей и Луной. В конечном итоге период вращения Земли вокруг своей оси должен сравняться с периодом обращения Луны вокруг Земли. Это произойдет, когда период вращения Земли достигнет 55 современных суток.

Количество солнечного тепла, поступающего на полюсы, должно при этом превышать его приток к экватору. В то же время смена сезонов должна стать особенно резкой. Полюса станут получать в два с лишним раза больше солнечной энергии за год, чем в настоящее время. Существенно расширятся области непрерывной полярной ночи и непрерывного полярного дня: полярные круги будут проходить там, где теперь проходят тропики Рака и Козерога. Например, на 60-й параллели полярная ночь и день будут составлять почти по 5 месяцев (5 суток). На экваторе день и ночь будут составлять по полумесяцу.

Будет ли на Земле в будущем нестерпимая жара сменяться почти космическим холодом, должны показать расчеты. При этом, возможно, к тому времени изменится состав атмосферы, размеры и конфигурация материков. Ясно одно, что при прочих равных условиях многократное замедление вращения Земли создает на ней климат, крайне затруднительный для существования жизни в ее современных формах.

Существенное воздействие (мягко сказано!) на климат Земли, вероятно, окажет «стареющее» Солнце. По расчетам астрофизиков, примерно через 5 млрд. лет Солнце превратится в красный гигант, став в 100 раз крупнее и в 500 раз ярче, чем сейчас. Затем Солнце поглотит Меркурий и Венеру. Температура на поверхности Земли, обращенной к Солнцу, подскочит до +1425 °С, другими словами, поверхность литосферы будет расплавлена. По этому же прогнозу уже через 0,5 млрд. лет разогревающееся Солнце сделает климат Земли несовместимым с жизнью в современных ее проявлениях. Стадия красного гиганта для Солнца продлится относительно недолго и завершится взрывом звезды с появлением на месте Солнечной системы облака пыли – туманности с нейтронной карликовой звездой в центре.

Смелые ученые-фантасты предполагают в своих прогнозах, что человечество к тому времени сможет изобрести способ спасения нашей планеты и переместит Землю от Солнца к другой молодой звезде.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ ДЛЯ ЗЕМЛИ

1. Долго еще Земля будет вращаться вокруг Солнца и не потерпит ли катастрофы, сойдя со своей орбиты? Иначе говоря, устойчиво ли движение Земли или, вообще говоря, Солнечной системы?

Впервые, проблему устойчивости Солнечной системы поставил еще в начале XIX в. знаменитый французский ученый *Лаплас*. Он же доказал эту устойчивость Солнечной системы, но не полностью. Во всяком случае, вековые возмущения в орбитах больших планет Солнечной системы отсутствуют. Другой французский ученый *Лагранж* также приближенно доказал, что вековые возмущения в эксцентриситетах и наклонностях орбит больших планет имеют колебательный характер и остаются достаточно малыми. Поэтому в настоящее время можно с уверенностью сказать, что изменения орбит больших планет Солнечной системы в течение будущих десятков тысяч лет будут достаточно малыми. В частности, орбиты Земли и Луны вокруг Солнца мало отличаются от современной на протяжении последней сотни тысяч лет. Другими словами, можно с уверенностью сказать, что Земля со своей орбиты никуда не сойдет и другие планеты её со своего пути никуда не «столкнут».

2. Какой минимальный вес должен быть у метеорита, чтобы мы могли увидеть «падающую звезду» в ночном небосводе?

Небольшие метеориты сгорают в воздухе, не достигнув поверхности Земли. По отдельности эти частицы вещества крайне малы – при массе всего 1 грамм «падающая звезда» при вхождении в атмосферу светит столь же ярко, как Венера. Некоторые наблюдаемые метеоры имеют всего 1/10000 этой массы, а это значит, что из 1 грамма метеоритного вещества можно увидеть метеоритный дождь из 10000 «падающих звезд».

3. На какую страну в XX и XXI вв. упали наиболее крупные метеориты?

На Россию 30 июня 1908 г. в бассейн Подкаменной *Тунгуски* в Сибири упал метеорит, что сопровождалось взрывом мощностью около 12,5 млн. т тротилового эквивалента, или около 1000 бомб, сброшенных на Хиросиму, поваливший 4-5 тыс. км² леса.

15 февраля 2013 г. примерно в 9:20 по местному времени метеоритное тело взорвалось в окрестностях *Челябинска* на высоте 15-25 км. По числу пострадавших (1613 чел. получили незначительные травмы)

падение этого метеороида не имеет аналогов в мировой документированной истории.

По расчетам НАСА, метеороид диаметром около 17 м и массой порядка 10 тыс. т вошёл в атмосферу Земли на скорости около 18 км/с. Судя по продолжительности атмосферного полёта, вход произошёл под очень острым углом. Разрушение представляло собой серию событий, сопровождавшихся распространением ударных волн. Общее количество высвободившейся энергии по оценкам НАСА составило около 500 килотонн в тротиловом эквиваленте, по оценкам РАН – 100-200 килотонн (в 5-25 раз мощнее бомбы, взорванной в Хиросиме в 1945 г.). По оценкам НАСА это самое большое из известных небесных тел, падавших на Землю со времени падения Тунгусского метеорита в 1908 г., и соответствует событию, происходящему в среднем раз в 100 лет. Из-за пологой траектории вхождения тела только сравнительно небольшая часть энергии взрывов достигла населённых пунктов.

4. Какого размера должен быть астероид, чтобы при падении остановить фотосинтез на всем земном шаре?

Если Земля столкнется с телом в 2 км диаметром, это может привести к выбросу в атмосферу 100 млрд. т. пыли, что привело бы к остановке фотосинтеза на Земле. В современных условиях это означало бы вымирание человечества и огромного количества животных от голода и холода.

На границе мела и третичного периода в Землю, вероятно, врезался астероид диаметром в 10 км, что высвободило энергию, равную 100 млн. мегатонн (мтн) в тротиловом эквиваленте. Чтобы представить мощность взрыва, нужно представить тротиловую шашку массой 100000 км^3 (куб со сторонами 45 км) или одновременный взрыв 100 млн. атомных бомб по 1 мтн в каждой, или взрыв 10 млрд. бомб (аналогичных сброшенной на Хиросиму, т. е. эквивалентной 10 тыс. т тротила (10 ктн)). Масса выбросов при взрыве могла достигнуть 10000 км^3 (это эквивалентно подъему в воздух горного хребта длиной 2500 км, шириной 4 км и высотой 2 км).

Удар космического тела размером в поперечнике в 10 км вызовет экологическую катастрофу с возможным уничтожением жизни и восстановлением ее только через несколько сотен тысяч лет. Удар космического тела размером в поперечнике в 100 км способен разрушить Землю, особенно при встречном столкновении и с обычными для таких ситуаций скоростями сближения в 30 км/с.

По статистическим подсчетам вероятность встречи Земли с телом размером 10 км возможна примерно 1 раз в 60-100 млн. лет, размером в 1 км – 1 раз в 1 млн. лет, около 100 м – каждые 5000 лет.

В 1989 г. на 6 часов разминулся с Землей астероид размерами около 800 м. 8 декабря 1992 г. астероид Тоутатио (6 км диаметром) прошел мимо Земли на расстоянии 3 млн. км, в мае 1996 г. в 450 тыс. км от Земли пролетел астероид диаметром примерно 500 м.

5. *Где на Земле обнаружен самый крупный метеорный кратер?*

В США в штате *Аризона* обнаружен кратер диаметром 1265 м. Вокруг кратера были обнаружены железные обломки весом 30 т. Считается, что здесь 27 тыс. лет назад упал метеорит массой около 2 млн. т.

Самый крупный из достоверных метеоритных кратеров глубокой древности – *Попигайская котловина* на севере Сибирской платформы, в бассейне р. Хатанги. Размеры внутреннего кратера составляют 75 км, а диаметр внешнего достигает 100 км. Катастрофа произошла 30 млн. лет назад. Космическое тело с большой скоростью пробило толщу осадков в 1200 м и затормозилось в породах фундамента Сибирской платформы. По предварительным оценкам, энергия взрыва достигала 10^{23} Дж, т. е. была в 1000 раз больше, чем при самом сильном вулканическом взрыве (Тамбора), и эквивалентна взрыву 200 млн. атомных бомб.

6. *Где на Земле обнаружены самые крупные астероидные кратеры?*

В настоящее время появились данные, свидетельствующие о том, что на границе мела и палеогена (около 70 млн. лет назад) не только упали осколки крупного астероида, но и возник рой болидов, которые породили целую серию кратеров. Один из таких кратеров обнаружен в Северном Причерноморье, другой – на Полярном Урале. Но самый крупный погребенный кратер обнаружен на севере полуострова *Юкатан* в Мексике. Он имеет в диаметре 180 км. Если представить, что подобный астероид упал бы в Амурской области в район Ерковцов (Ивановский район), то в кратере оказались бы Благовещенск, Белогорск, Свободный, Райчихинск, Константиновка, Тамбовка, Ромны, Екатеринославка и др., т. е. самые заселенные районы области. Глубина кратера достигала бы 15 км. Этот кратер был обнаружен во время бурения и оконтурен по гравитационной и магнитной аномалиям. В ы-

бросы из этого кратера обнаружены на далеком расстоянии – на острове Гаити и в Северо-Восточной Мексике.

Второй кратер, возникший в результате космической бомбардировки на рубеже мела и палеогена, – Карская астроблема, расположенная на восточном склоне Полярного Урала и хребта Пай-Хой. Она достигает 140 км в поперечнике. Еще один кратер обнаружен на шельфе Карского моря. Предполагается, что крупная часть астероида упала в Баренцево море. Практически во всех пограничных слоях, по времени соответствующих известным фанерозойским вымираниям живых организмов, установлено присутствие повышенного количества иридия, шокового кварца и полевого шпата. Это дает основание считать, что падение космических тел в более древние эпохи, так же как и на рубеже мела и палеогена (вымирание динозавров) могло вызвать массовые вымирания.

Последней крупнейшей катастрофой в истории Земли, возможно, вызванной столкновением Земли с кометой, является Всемирный потоп, описанный в Ветхом завете. В 1991 г. австрийские ученые, супруги Эдит Кристиан-Толман и Александр Толман, по годичным кольцам деревьев, резкому увеличению содержания кислот в ледниках Гренландии установили, что это произошло около 10 тыс. лет назад (25 сентября 9545 г. до н. э.). По-видимому, основные обломки кометы упали в океан, что вызвало катастрофические землетрясения, извержения вулканов, цунами, ураганы, ливни глобального масштаба, лесные пожары, а затем общее похолодание. Все эти явления спровоцировали гибель многих представителей наземной фауны и флоры (особенно крупных млекопитающих).

65 млн. лет назад вымерли все крупные наземные позвоночные, выгорел и погиб практически весь лесной покров планеты. Исчезли все головоногие моллюски (аммониты и белемниты), все семейства планктонных организмов, кораллов и мшанок, 75% семейства брахиопод, такое же количество двустворчатых и брюхоногих моллюсков. Однако через сравнительно недолгое время, спустя 3-5 млн. лет, органическая жизнь на земле возродилась.

Между тем эта космическая катастрофа была все же не самой крупной в истории Земли. В течение последних 800 млн. лет геологической истории подобных космических катастроф насчитывается 21. Не упав на Землю астероид 65 млн. лет, не произошли в это время космическая бомбардировка, неизвестно, сколько лет могла продлиться эпоха жизни динозавров. А ведь экологическую нишу динозавров

заняли млекопитающие, эволюция которых привела к появлению *Homo sapiens* (человека разумного).

7. Каких максимальных размеров достигали метеориты, падающие на Землю?

Советский астроном В.С. Сафронов рассчитал возможные размеры и массы тел, падавших на Землю. Оказалось, что значительная часть нашей планеты образовалась за счет крупных тел, падавших на Землю в первые десятки миллионов лет своего существования (около 4,6 млрд. лет назад). Массы наибольших тел, падавших на Землю, были оценены по наблюдаемому сейчас наклону оси вращения Земли. Как предполагается, наклон оси вращения Земли возник в результате падения на планету крупного тела (согласно гипотезе захвата Луны с солнечной орбиты на околоземную, именно она задавала наклон оси вращения и раскрутила Землю с запада на восток до 6 часов за одни сутки). Сафронов показал, что при существующем сейчас угле наклона земной оси в $23,5^\circ$ массы наибольших тел, падавших на Землю при ее образовании, достигали $1/1000$ массы Земли. Следовательно, поперечник их мог быть до 1000 км. Трудно вообразить масштабы катастрофы, если тело весом 1000000000 млрд. т, падающее со скоростью 11 км/с, столкнется с Землей.

Очень отдаленное представление о масштабе этого явления дают лунные кратеры и моря. Заметим, что лунные моря образовались в результате падения тел с поперечником всего несколько десятков километров, т. е. по массе в десятки раз меньше тех, которые падали на Землю. Выделившейся при ударе энергии достаточно, чтобы нагреть на сотни градусов слой толщиной больше поперечника упавшего тела. Следовательно, при диаметре астероида 1000 км глубина разогрева достигала 1000 км. Сафронов полагает, что заметная часть энергии падения больших тел оставалась внутри Земли и могла нагреть верхние ее слои более чем на 1000°C .

Будь у крупнейших астероидов, падавших на Землю, другие размеры, скорость или угол падения, наша планета имела бы иной наклон оси. Любое изменение наклона оси отразится на ширине тропического и умеренных поясов, широте полярных кругов, а стало быть, на глобальном климате Земли. Формирование Земли как планеты, сопровождавшееся падением астероидов и метеоритов, продолжалось около 100 млн. лет. По сравнению с длительностью жизни человека срок этот огромен. Но если мы вспомним, что возраст Земли равен 4,5-5 млрд.

лет, то получается, что образование ее как планеты из астероидов и метеоритов заняло лишь 2% времени от всей жизни нашей планеты.

8. *Какая природная катастрофа, по одной из самых распространенных гипотез, спровоцировала гибель динозавров около 70 млн. лет назад?*

Столкновение Земли с космическим телом размером более 1 км в диаметре. Падение на Землю тела поперечником около 1 км при взрыве выделит энергии столько же, как одновременный взрыв 10 тыс. водородных бомб с мощностью каждой по 10 Мт (как 10 млн. бомб, сброшенных на Хиросиму) или как взрыв 100 млрд. т тротила, что образует кратер диаметром около 20 км. Вероятность столкновения с подобными телами оценивается как 1 раз в 250 тыс. лет. За время существования человечества подобные катастрофы неизвестны.

9. *Какого размера должен быть метеорит, чтобы при падении в океан достиг дна и образовать в нем кратер?*

Вероятность падения крупного метеорита или астероида в океан примерно в три раза выше, чем на сушу (океан занимает $\frac{3}{4}$ площади планеты). Чтобы метеорит достиг дна (средняя глубина океана 3,8-4 км) не «увязнув» в воде, требуется колоссальный вес в 3 млрд. т. Именно с этой массой космическое тело сможет образовать кратер на дне океана. Падение в океан такого крупного метеорита (куб, со стороной 1 км) поднимет разрушающую волну-цунами, которая обогнет Земной шар несколько раз, а облако пара массой порядка 100 млрд. т (или 100 км^3 (почти в 2 раза больше годового объема Зейского водохранилища) выпадет ливнями, масштаб которых трудно вообразить.

10. *Какая катастрофа в истории Земли как планеты, по прогнозам астрономов, вероятно, будет самой грандиозной?*

Примерно через 5 млрд. лет Солнце, выработав весь водород, начнет превращаться в красного гиганта, став в 100 раз крупнее и в 500 раз ярче, чем сейчас. Затем Солнце поглотит Меркурий и Венеру, превратит поверхность Земли в расплавленную лаву с температурой до $1400 \text{ }^\circ\text{C}$. И в финале через несколько миллионов лет Солнце взорвется сверкающей вспышкой, получившей название сверхновой звезды, при этом от ядра звезды останется нейтронная звезда или черная дыра, а большая часть солнечного вещества вместе с планетами и Землей превратится в космическую пыль, которая из глубин космоса будет выглядеть как красивая туманность.

По одному из астрономических прогнозов, через 2,5 млрд. лет наша Галактика столкнется с Галактикой «Туманность Андромеды». Какова будет судьба Земли при столкновении звездных скоплений, в каждом из которых не меньше 100 млрд. звезд, сказать весьма сложно.

11. Если предположить, что Земля благополучно переживет взрыв состарившегося Солнца, какие опасности могут ожидать нашу планету в очень далеком будущем?

Предположив, что человечество спасет Землю от взрывающегося Солнца (отбуксировав нашу планету к другой звезде, что представляется маловероятным), обеспечить «вечную» жизнь нашей планете все равно вряд ли удастся.

По расчетам астрофизиков, все звезды Вселенной погаснут, превратившись в холодные тела или черные дыры, через 10^{14} лет. Этот срок огромен, он в 10 тыс. раз больше времени, прошедшего от начала расширения Вселенной до наших дней (возраст Вселенной около 20 млрд. лет). Примерно через 10^{32} лет все ядерное вещество полностью распадется, звезды и планеты превратятся в фотоны и нейтрино, вместо материи наступит эра излучения. Вселенная будет состоять из фотонов, нейтрино, электронно-позитронной плазмы и черных дыр, которые тоже превратятся в излучение. К возрасту Вселенной 10^{100} лет в мире останутся практически только электроны и позитроны, рассеянные в пространстве с ужасающе ничтожной плотностью: одна частица будет приходиться на объем, равный 10^{185} объемам всей видимой сегодня Вселенной.

По другому сценарию (гипотезе пульсирующей Вселенной) бесконечное расширение может обернуться сжатием Вселенной до сверхмалой точки с последующим «большим взрывом».

В обоих сценариях, по воззрениям современных физиков, жизнь и Земля вечно существовать не смогут.

ПАРАДОКСЫ КОСМИЧЕСКИХ ДОРОГ

1. Откуда с Земли легче всего запустить в космос ракету?

С экватора. Потому что при неизменности массы вес ракеты на старте на экваторе будет составлять 99,54149% веса на широте Мурманска. Это обусловлено тем, что земной шар имеет форму, близкую к эллиптической. Планета немного сплюснута на полюсе, и расстояние до центра Земли меньше, чем на экваторе, и сила притяжения больше. Потому спутники и ракеты проще запускать с экватора, где притяже-

ние Земли меньше и на это требуется меньше затрат энергии и топлива.

Кроме того, благодаря осевому вращению Земли ракета на старте имеет, еще не включив двигатели, 1667 км/час, а на полюсах 0 км/час. Всего ракете надо набрать скорость в 28000 км/час. При одинаковых затратах топлива с экватора можно запустить больше полезного груза, чем из других мест Земли. Скорость осевого вращения Земли на экваторе равна 464 м/с, на 50° с. ш. (в Благовещенске) – 296 м/с, на полюсах 0.

2. Достигнув какой скорости, космический аппарат сможет преодолеть притяжение Земли и улететь к другим планетам?

На скорости 11,1 км/с можно долететь до Луны, но притяжение Земли еще не будет преодолено, и только со скоростью 11,2 км/с и более аппарат не вернется к Земле. При 16,6 км/с аппарат может покинуть Солнечную систему, а при 360 км/с аппарат преодолеет притяжение нашей Галактики.

3. С какой планеты Солнечной системы быстрее и экономичнее было бы осуществлять полеты к другим планетам?

Первой околосолнечной планетой является, как известно, Меркурий. Небезынтересен парадокс, касающийся этой планеты. заключается он в следующем: перелет с меркурианского космодрома по полуэллиптической траектории на любую другую планету будет менее продолжительным, чем с поверхности Земли. Например, полет на Марс с Меркурия продлится только 170,5 суток вместо 258,5. Таким образом, выигрыш во времени составит около трех месяцев.

При полете с Меркурия на Юпитер продолжительность рейса сократится на 5 месяцев, а при полете на Плутон – на целый год. Даже полет с Земли на Плутон с предварительным удалением от орбиты этой планеты на Меркурий оказался бы менее продолжительным, чем прямое сообщение Земля-Плутон.

Кстати, полет с Земли на Венеру будет более продолжительным, чем на Меркурий. Перелет с Марса на Меркурий будет на 47 суток меньше рейса Марс-Венера. Разгадка этих парадоксов кроется в протяженности полуэллиптических траекторий, соединяющих планеты с Меркурием: они короче соответствующих траекторий Земля – планета назначения.

4. Почему нельзя при возвращении с Луны садиться в середину видимого диска Земли?

Подлетая к Земле со скоростью примерно 11 км/с, космический аппарат, входя в поле гравитации Земли отвесно под прямым углом, не успеет погасить скорость в верхних слоях атмосферы, и основное торможение его произойдет в низких, плотных слоях, на относительно небольшой длине пути. Ввиду этого возникают чрезвычайно высокие перегрузки, достигающие 300-400 g (напомним, что тренированный человек с трудом переносит несколько секунд перегрузку в 15-20 g). Действие таких перегрузок при отвесном входе в атмосферу Земли эквивалентно удару о твердую преграду на скоростях более 200 км/ч и эквивалентно тому, что на человека положат груз массой 20-28 т.

При возвращении с Луны коридор входа в атмосферу имеет ширину около 40 км (над экватором) для кораблей «Аполлон». Прицеливание в него с расстояния около 380000 км при скорости возвращения 46320 км/ч равносильно прицеливанию винтовкой в мишень размером с крупное яблоко (10 см) с расстояния в 1 км.

5. Земной шар имеет диаметр 12758 км. Легко ли «попасть» в такую «цель» космическому кораблю при возвращении с Луны или в будущем при возвращении с других планет?

Космический аппарат при возвращении на Землю оказывается в роли обычного крупного метеорита со всеми вытекающими отсюда неприятными последствиями. Как же быть? Если корабль войдет в атмосферу Земли слишком круто, почти по вертикали, участок торможения окажется очень коротким, а перегрузки для космонавтов невыносимо большими (при возвращении с Луны до 300 g). Если же, наоборот, пронизать атмосферу почти по касательной, то это также ни к чему хорошему не приведет: или корабль на гиперболической скорости проскочит мимо планеты, или, слегка заторможенный атмосферой, превратится в спутник планеты с сильно вытянутой орбитой, и посадка опять не состоится (корабль при этом возвратится в опасную зону радиационных поясов, где долго летать не рекомендуется). Вот и получается, что, например, при возвращении корабля с Луны на Землю приходится выбирать очень узкий «коридор входа», т. е. область пространства в районе Земли, внутри которого есть благоприятные условия для мягкой посадки. Этот коридор очень узок и при возвращении с Луны он составляет по ширине всего 10-15 км.

При этом наиболее приемлема траектория, наклоненная к плоскости местного горизонта под углом 1-2°. В таком варианте перегрузки

не превысят 22 г. Стоит, однако, увеличить угол входа всего лишь на 1°, и перегрузки станут почти втрое больше. Ошибка в 1° в другую сторону вызовет промах – аппарат пролетит мимо Земли. Таким образом, возвращение на Землю требует очень точного прицеливания в «яблочко» шириной всего в 10-13 км (0,08% от диаметра Земли или 1/1250 диаметра планеты).

6. Во сколько раз по длине маршрута отличается полет космического корабля к Луне по сравнению с полетами к другим планетам Солнечной системы?

Чтобы лучше представить космические масштабы, уменьшим все размеры и расстояния в Солнечной системе в 15 млрд. раз. В этом масштабе Земля будет шариком около 1 мм поперечником, а Луна крупинкой в 0,25 мм в 3 см от Земли. Солнце диаметром около 10 см должно отстоять в 10 м от Земли. Путешествие на Луну в этом масштабе по прямой составит 30 диаметров Земли или 3 см (один виток искусственного спутника Земли будет равен 3 мм или 1/10 расстояния до Луны).

Марс (0,5 мм) будет отстоять от Солнца в 16 м, а от Земли кратчайшее расстояние будет достигать 4-6 м, что в 140-200 раз больше расстояния «Земля-Луна». Путешествие на Марс по эллиптической (гомановской) траектории будет длиной более 30 м. Таким образом, трасса полета на Марс примерно в 1000 раз больше трассы полета на Луну и в 10000 раз больше длины одного витка вокруг Земли (маршрута Гагарина).

Юпитер будет шариком в 1 см в 52 м от Солнца, Сатурн (8 мм) в 100 м, Уран (3 мм) в 196 м, Нептун в 300 м и Плутон в 400 м от светила. Полет станции «Вояджер-2» до Нептуна (даже без учета дуги гомановского эллипса) как минимум в 10000 раз превышает длину лунного маршрута и в 300000 раз больше диаметра Земли.

В масштабах «астрономического пешехода» (рост 1,7 м приравняем диаметру Земли) полет на Луну – это прогулка на 50 м (30 диаметров Земли), полет на Марс – поход на 50 км, полет к Нептуну – дорога длиной более чем в 510 км. Для сравнения заметим, что околоземный спутник (на высоте 300 км) будет для путника пылинкой на высоте от кожи не более 4-5 мм. Если же путник направится к ближайшей звезде, то в этом масштабном измерении ему надо будет преодолеть 4,5 млн. км (более 11 реальных расстояний Земля-Луна).

7. Что проще осуществить в межпланетной космонавтике: долететь до Солнца или вылететь за пределы Солнечной системы?

Если межпланетные полёты осуществлять по такой схеме: в начале космический аппарат выводится на круговую орбиту вокруг Земли высотой 200 км (при этом ему сообщается скорость 7,8 км/с), а затем ему сообщается дополнительная скорость разгона, то при полёте к различным планетам эти дополнительные скорости приблизительно составят: для Марса – 3,6, Венеры – 3,5, Юпитера – 6,3, Меркурия – 5,6, Плутона – 8,4 км/с.

Ещё более значительная скорость необходима для достижения поверхности Солнца – 21,3 км/с (при старте с Земли – 29,1 км/с). Фактически космический аппарат должен «погасить» скорость орбитального движения Земли (29,8 км/с) или как бы остановиться на орбите Земли и начать «падать» на Солнце. Для того, чтобы покинуть Солнечную систему, необходима значительно меньшая скорость – 8,75 км/с (чтобы покинуть поверхность Земли – 16,75 км/с).

Таким образом, технически и энергетически покинуть Солнечную систему (более 6 млрд. км от Солнца и Земли до Плутона) космическому аппарату проще, чем «упасть» на Солнце (всего-то 0,15 млрд. км от Земли).

8. Для полёта людей на Луну США запустили «Сатурн-5» массой около 3000 т, при этом на околоземную орбиту выводился полезный груз массой около 140 т. А какая ракета потребовалась бы для пилотируемого полёта на Марс?

Чтобы достичь Марса, скорость старта с околоземной орбиты должна быть не намного больше, чем для полёта к Луне, – около 4 км/с (для Луны – чуть более 3 км/с). Для торможения с целью перехода на околомарсианскую орбиту нужен импульс скорости около 2 км/с, для посадки – с учётом наличия сильно разреженной атмосферы ещё около 2 км/с, для старта к Земле – 5-6 км/с. Кроме того, придётся неоднократно включать двигатель для коррекции траектории полёта туда и обратно. В результате сумма всех требуемых скоростей составляет без учёта выведения на околоземную орбиту не менее 13-15 км/с (для полёта на Луну – около 8 км/с).

С учётом массы конструкции корабля, объёма оборудования с многократно резервированными системами, необходимых запасов расходуемых ресурсов системы обеспечения жизнедеятельности (на человека только пищи, воды, кислорода, соответствующего оборудования, по некоторым подсчётам, понадобится около 40 т, не считая ре-

зервов), массы энергостанции большой мощности, приняв массу возвращающегося на Землю аппарата с экипажем и материалами, что при использовании жидкостных ракетных двигателей на кислородно-водородном топливе, начальная масса марсианского корабля на околоземной орбите составит порядка 1000-1500 т.

Разумеется, корабль с такой массой невозможно, да и нецелесообразно выводить на орбиту одной ракетой. Корабль придётся собирать на орбите. Однако для этого потребуется немалое количество ракет-носителей: 50-75 подобных «Протону» (около 700 т) или 8-12 ракет типа «Сатурн-5» или «Энергия». Целесообразней было бы создать мощные носители с полезным грузом, скажем, до 500 т (масса на старте около 15 тыс. т), и свести дело к 2-3 стыковкам [Феокистов, 1982, с. 166].

Если же ограничиваться одним стартом, то ракета должна весить до 30 тыс. т (для полёта к Юпитеру ракета должна была бы быть массой 70-250 тыс. т, к Сатурну – 45-180 тыс. т) [Зигель, 1970, с. 228].

Как утверждается в ряде работ, выполняемых в США, стартовая масса ракеты-носителя в 20000 т является вообще предельной для ракет с ЖРД. Дальнейшее увеличение стартовой массы приведёт к вырождению космической ракеты: её конечная ступень уже не будет выходить на орбиту, т. е. ракета такой массы будет просто баллистической ракетой, не способной выйти на орбиту.

9. Какой межпланетный маршрут экономичнее – прямой от Земли к Солнцу или с «залётом» (далеко в обход) к третьей планете, Юпитеру?

Оказывается, самым экономным способом долететь до Солнца от Земли будет не прямой маршрут с Земли (150 млн. км), а с «залётом» к Юпитеру (расстояние от Солнца) для совершения гравитационного манёвра. Фактически «юпитерианский» маршрут на Солнце будет более чем в 10 раз длиннее кратчайшего маршрута Земля-Солнце [Холшевников, 1990, с. 20].

Как ни странно, «прямой» путь от планеты к планете оказывается не всегда самым коротким и быстрым, «залёт» к третьей планете может сократить время межпланетного перелёта. Исключительные возможности заложены в использовании мощного гравитационного поля Юпитера при полёте к дальним планетам. По сравнению с оптимальными прямыми перелётами к дальним планетам перелёт с использованием гравитационного поля Юпитера при одинаковых или несколько

больших энергозатратах приводит к значительному уменьшению продолжительности полёта.

Например, оптимальный прямой полёт к Сатурну потребует импульса 7,28 км/с и продлится 6,1 года, а полёт с попутным проходом мимо Юпитера при импульсе 7,5 км/с – всего 2,88 года.

При прямом оптимальном полёте к Урану потребный импульс составит 7,98 км/с, а продолжительность полёта – 16 лет. Использование облёта позволит при энергозатратах 7,9 км/с долететь до Урана за 5,04 года.

Прямой оптимальный полёт к Нептуну характеризуется такими цифрами: энергозатраты – 8,28 км/с, продолжительность – 30,7 года. Полёт к Нептуну «через Юпитер» (т. е. при близком пролёте этой планеты) при энергозатратах 8,2 км/с продлится только 7,56 года.

Но наиболее эффективно можно использовать гравитационное поле Юпитера при полёте к Плутону. Оптимальный прямой полёт к этой планете при энергозатратах в 8,36 км/с продлится 45,7 года, а полёт «через Юпитер» при энергозатратах 9 км/с – всего 8,93 года.

ГЕОГРАФИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПУТЕШЕСТВИЙ

1. С какой попытки космические аппараты – посланцы Земли достигли поверхности Луны?

Великую лунную эпопею начали американцы 17 августа 1958 г., однако «Пионер», нацеленный на то, чтобы стать искусственным спутником Луны, взорвался на 77-й секунде полёта, пролетев всего 16 км.

Следующую попытку предпринял СССР на Р-7 (с дополнительной третьей ступенью) 23 сентября 1958 г., ракета пролетела чуть дальше американской и взорвалась на 93-й секунде полёта.

11 октября 1958 г. американский «Пионер-1», достигнув отметки в 114 тыс. км, падает обратно на Землю.

12 октября в СССР аппарат Е-1 взорвался на 104-й секунде.

8 ноября 1958 г. американский «Пионер-2» достиг 1550 км и опять упал на Землю.

4 декабря 1958 г. советский Е-1 пролетел только 245 с.

6 декабря 1958 г. американский «Пионер-3», достигнув 102 тыс. км высоты, падает обратно.

2 января 1959 г. советский Е-1 отправился к Луне. Аппарат впервые в истории человечества превысил вторую космическую скорость. Аппарат получил название «Луна-1», но попасть на Луну все же не

удалось (прошёл в 6 тыс. км от ночного светила). «Луна-1» стала первой искусственной планетой Солнечной системы.

3 марта 1959 г. американский «Пионер-4» проходит мимо Луны на расстоянии 60 тыс. км.

18 июня 1959 г. советский Е-1 из-за отказа ракеты пришлось взорвать.

Наконец, запуск 12 сентября 1959 г. советской «Луны-2» приводит к попаданию в «десятку», а 14 сентября, посланник Земли врезался в ночное светило. До этой удачной, триумфальной попытки СССР предпринял 5 неудачных пусков и 5 пусков, было предпринято в США.

4 октября 1959 г. советская «Луна-3» запускается и 7 октября фотографирует обратную сторону Луны, передав 18 октября снимки по радио на Землю.

Американская попытка запуска «Пионера-5» 26 ноября 1959 г. закончилась неудачей. 15 и 19 апреля 1960 г. неудачно закончились советские пуски к Луне, а в сентябре и декабре 1960 г. – американские.

Фактически за 1958-1960 гг. человечество предприняло 17 пусков на Луну (8 американских и 9 советских), из которых удачными оказались 2 советских пуски («Луна-2» и «Луна-3»).

2. С какого раза удалась мягкая посадка на Луну автоматической станции?

Проект по осуществлению мягкой посадки на лунную поверхность получил в СССР кодовое обозначение Е-6. Непосредственно к запускам приступили с января 1963 г., и с этого момента пошла полоса фатальных неудач. Никто не мог предположить, что успех придёт только через три года изнурительной борьбы, лишь на 12-м запуске. Новый аппарат и новая ракета долго не хотели надёжно работать. Отказывали то какая-нибудь из ступеней, то разгонный блок, то система управления.

31 января 1966 г. в космос устремилась станция «Луна-9». И, наконец, удача улыбнулась учёным! Спустя трое суток аппарат произвёл торможение и сбросил на лунную поверхность контейнер со станцией. Специальный надувной амортизатор смягчил удар, и вскоре «Луна-9» уже лежала на грунте в Океане Бурь. По команде открылись четыре лепестка внешнего кожуха, развернулись «тычинки» антенн, и из сердцевины металлического цветка выдвинулась панорамная камера. Так, впервые у людей появилась возможность рассмотреть лунные камни.

«Луна-10» стала искусственным спутником Луны, который функционировал на орбите с 3 апреля по 30 мая 1966 г.

3. *Какие рекорды были установлены американской лунной экспедицией «Аполлон-11», впервые доставившей человека на Луну?*

В этом историческом полете (16-24 июля 1969 г.) американские астронавты впервые установили мировые рекорды, связанные с полетом пилотируемых космических кораблей на Луну.

Продолжительность пребывания на Луне вне корабля – 2 часа 31 минута 40 секунд (Нил Армстронг), продолжительность полета по орбите вокруг Луны – 59 часов 27 минут 50 секунд (Майкл Коллинз), продолжительность пребывания на Луне – 21 час 36 минут 21 секунда (Нил Армстронг, Эдвин Олдрин), наибольший вес, доставленный на окололунную орбиту с поверхности Луны, 2689,2 кг [Борисенко, 1975, с. 102].

4. *Что ответил американский астронавт Чарльз Конрад, четырежды побывавший в космосе (на «Джемини», «Аполлоне», «Скайлэбе»), на вопрос: «Ваше самое значительное впечатление в космосе?»*

«Это было во время лунной экспедиции, – ответил Ч. Конрад. – Мы уже возвращались, и оставалось несколько часов до посадки. Земля полностью затмила Солнце... Если вы находитесь в глубоком космосе и смотрите на Землю, то она такая же темная, как и космос. Но в эти минуты Земля освещалась Луной. Мы увидели полную ночь, но отчетливо в лунном свете проглядывали континенты и облака над нами. Мы одновременно наблюдали Австралию, Азию, Великий океан. Над Индией, Китаем и Индонезией мелькали молнии – там бушевали грозы. И в центре земного диска светилась яркая точка – это Луна отражалась на облаках. До Земли оставалось еще 40 тысяч километров...».

5. *С какой попытки космические аппараты достигли поверхности Марса?*

«Штурм» красной планеты от первых попыток до попадания в Марс длился 11 лет. Советский Союз осуществил **9 неудачных попыток** достигнуть Марса, прежде чем спускаемые аппараты достигли его поверхности. Попытки запуска осуществлялись 10.10.1960, 14.10.1960, 24.10.1962, 1.11.1962 («Марс-1» как мёртвое тело пролетел в 200000 км от Марса), 4.11.1962, 30.11.1964, 27.03.1969, 2.04.1969 г. Запущенные

19.05.1971 г. «Марс-2» и 28.05.1971 г. «Марс-3» достигли успеха. 27.11.1971 г. спускаемый аппарат с «Марса-2» разбился о планету, а 2.12.1971 г. спускаемый аппарат мягко «примарсился» и проработал 20 секунд.

В июле (21 и 25) и августе (5 и 8) 1973 г. были запущены «Марсы» – 4, 5, 6, 7. «Марс-4» пролетел в 2200 км от планеты, не сработал тормозной двигатель, «Марс-5» проработал на орбите Марса около недели. С «Марс-6» при приземлении была утеряна связь, спускаемый аппарат с «Марс-7» прошёл всего в 1300 км от поверхности и затерялся в космосе.

Американский «Маринер-3», запущенный 5.11.1964 г., вышел из строя, «Маринер-4» (28.11.1964) пролетел через 8 месяцев в 10 тыс. км от Марса. Сделав фото, «Маринер-8», запущенный 8.05.1971 г., потерпел неудачу, а «Маринер-9», запущенный 30.05.1971 г., стал первым в истории спутником Марса 13.11.1971 г.

6. С какой попытки космические аппараты – посланцы Земли, достигли поверхности Венеры?

Достижение ближайших к Земле планет оказалось очень сложным делом. Первая попытка достигнуть Венеры 4 февраля 1961 г. закончилась для советского аппарата неудачно.

12 февраля 1961 г. «Венера-1» вышла на трассу перелёта, но в 2 млн. км от Земли связь была утеряна, и мертвый аппарат пролетел в 100 тыс. км от Венеры. Далее СССР предпринял в 1962 г. 3 попытки достигнуть Венеры (24 апреля, 8 августа, 12 сентября), которые закончились неудачно.

Старты 19 февраля и 27 марта 1964 г. также закончились неудачно. 12 ноября 1965 г. «Венера-2» также замолчала на пути к цели. Только старт 16 ноября 1965 г. «Венеры-3» достиг цели: аппарат 1 марта 1966 г. врезался в поверхность Венеры. Таким образом, только **десятая попытка** достигнуть Венеры увенчалась успехом.

Старт 23 ноября 1965 г. закончился неудачно. «Венера-4» (12.06.1967) запустила в атмосферу Венеры спускаемый аппарат, который был раздавлен атмосферой на высоте 22 км (18.10.1967).

Старт 17 июня 1967 г. закончился неудачей. Запущенные 5 и 10 января 1969 г. «Венера-5» и «Венера-6» сбросили в атмосферу Венеры 16 и 17 мая 1969 г. спускаемые аппараты, которые были раздавлены на высоте 19 км. Запущенная 17 августа 1970 г. «Венера-7» выбросила 15 декабря 1970 г. спускаемый аппарат, который достиг поверхности Венеры (температура +445°С и давление в 100 земных атмосфер).

Спусковой аппарат «Венеры-8» сел на дневную поверхность Венеры и проработал 50 минут (22.07.1972).

22 и 25 октября орбитальные аппараты «Венеры-9» и «Венеры-10» впервые в истории стали искусственными спутниками Венеры. Спускаемые аппараты проработали 53 и 65 минут соответственно.

Запущенные в сентябре 1978 г. «Венера-11» и «Венера-12» высадили спускаемые аппараты, отработавшие на поверхности 110 и 95 минут.

Первая американская попытка достижения Венеры 22 июня 1962 г. «Маринером-1» закончилась неудачей. «Маринер-2», запущенный 27 августа 1962 г., пролетел от Венеры в 35 тыс. км.

7. Какой космический аппарат достиг наиболее близкого расстояния до Солнца?

Приоритет в максимальном приближении к Солнцу принадлежит учёным тогда ещё суверенной Западной Германии. Именно они в начале 1970-х гг. разработали и затем отправили в космос при помощи американской РН «Титан-3Е» первый солнечный зонд – «Гелиос-1». Аппарат был запущен 10 декабря 1974 г. и вышел на гелиоцентрическую орбиту с небольшим перигелием. Благодаря этому 15 марта 1975 г. он пролетел в 46,5 млн. км от Солнца – чуть дальше, чем Меркурий при максимальном с ним сближении.

15 января 1976 г. в путь отправился аналогичный первому аппарату «Гелиос-2». 17 апреля новая АМС прошла от Солнца на рекордно малом расстоянии – 43,4 млн. км. Никогда ни один посланец Земли не подлетал ближе. Для сравнения заметим, что расстояние от Земли до Солнца равно 150 млн. км.

8. Какой космический аппарат удалился на самое большое расстояние от Земли и Солнца?

К 18 февраля 1998 г. «Вояджер-1» удалился от Солнечной системы на 10,4 млрд. км. Это больше расстояния, на котором в тот момент находился «Пионер-10». К 5 ноября 2003 г. его отделяли от светила уже 90 астрономических единиц (а. е.), или 90 расстояний от Земли до Солнца, т. е. приблизительно 13,5 млрд. км (1 а. е.=149,6 млн. км). По данным на февраль 2006 г., «Вояджер-1» находился на расстоянии более 14,68 млрд. км от Солнца (около 100 расстояний «Земля-Солнце»).

С АМС «Вояджер-1» связана необычная история. Однажды учёные решили использовать станцию для съёмки планет, только всех сразу. Расстояние от светила было уже столь велико, что Солнечная

система предстала как на ладони. Из получившихся снимков стали создавать «портрет» системы, на котором все планеты выглядели точками. Вот самая крупная планета – Юпитер, вот поменьше – Сатурн. Вдруг одной исследовательнице показалось, что на снимок попала маленькая соринка. Она осторожно попыталась смахнуть её с изображения, но та не поддавалась. Потому что эта маленькая точка не была соринкой, то была наша Земля...

Оба «Вояджера», идя в разных направлениях, достигнут окрестностей ближайших звёзд примерно через 40000 лет, пройдя от них в 1,5-1,6 световых лет.

9. Попадали ли космические аппараты за пределы Солнечной системы?

3 марта 1972 г. американская РН «Атлас-Центавр» вывела в космос аппарат (14,4 км/с), которому суждено было увидеть вблизи Юпитера (4.12.1973 г. прошёл в 132000 км от Юпитера). Его имя – «Пионер-10». 5 апреля 1973 г. был запущен «Пионер-11», станция, навестившая 1 апреля 1979 г. Сатурн (прошёл в 286000 км от него). Под действием тяготения Сатурна «Пионер-11» изменил направление полета и отправился к границам Солнечной системы.

За пределы всех планетных орбит «Пионер-10» вышел 13 июня 1983 г. (через 11 лет после старта). Но это пока не был выход из зоны гравитационного действия Солнца, и станция продолжала двигаться в потоке «Солнечного ветра». Связи с АМС длились целых 20 лет, а весь активный полёт – более 30 лет! Со временем сигнал с борта «Пионер-10» всё слабел, а затем исчез окончательно. Только 25 февраля 2003 г. НАСА официально объявило о прекращении попыток связаться с легендарной станцией. «Пионер-10» продолжал удаляться от Солнца в направлении на Альдебаран в созвездии Тельца. На его борту уходит в бездну Вселенной послание землян братьям по разуму (такое же послание несёт «Пионер-11»): позолоченная алюминиевая пластинка с изображением станции, её траекторией, образами мужчины и женщины.

20 августа 1977 г. состоялся запуск аппарата «Вояджер-2», а 5 сентября 1977 г. за ним последовал «Вояджер-1». «Вояджер-1», запущенный позже, стал лидером гонки за счёт большей скорости. 5 марта 1979 г. он уже пролетал рядом с Юпитером, а «Вояджер-2» – только 9 июля.

В ноябре 1980 г. «Вояджер-1» достиг Сатурна, а «Вояджер-2» в августе 1981 г. После Сатурна «Вояджер-1» ушёл за пределы Солнеч-

ной системы, а второй аппарат прошёл мимо Урана (24 января 1986 г.), а 25 августа 1989 г. – мимо Нептуна и далее устремился за пределы Солнечной системы.

10. Какой космический аппарат в ходе своего рекордного по дальности путешествия посетил наибольшее количество планет солнечной системы (пролетая рядом), передав на Землю наибольшее количество снимков и прочей информации о планетах и их спутниках?

Рекордсменом среди космических путешественников стал американский КА «Вояджер-2», запущенный 20 августа 1977 г. (5 сентября 1977 г. был запущен и «Вояджер-1»). Юпитера он достиг 9 июля 1979 г., а 26 августа 1981 г. он пронёсся на расстоянии 101 тыс. км от Сатурна. «Вояджер-1» после этого пошёл за пределы Солнечной системы.

«Вояджер-2» направился к Урану и в январе 1986 г. прошёл от него всего в 9 млн. км, открыв при этом 10 спутников диаметром от 40 до 60 км. Ночью 24 августа 1989 г., огибая северный полюс Нептуна, «Вояджер-2» прошёл на минимальном расстоянии от планеты – 4895 км от верхней границы облачного слоя. При сближении с Нептуном «Вояджер-2» зафиксировал 7 спутников диаметром от 50 до 400 км. После прохождения мимо «семейства» Нептуна КА «нырнул» под плоскость эклиптики и под углом 50° стал удаляться из солнечной системы в направлении звезды Росс 248, которой он, видимо, достигнет в 42000 году. Оба «Вояджера» (в большей степени второй) передали на Землю более 100 тыс. изображений и другой информации о всех планетах-гигантах и их окружении. Таким образом, «Вояджер-2» посетил пролётом 4 планеты Солнечной системы, больше, чем какие-либо другие космические аппараты.

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ НАСТОЯЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

1. На каких орбитах расположено большинство спутников связи?

Искусственный спутник на круговой экваториальной орбите, на высоте 36 тыс. км над Землёй, имеет период обращения вокруг планеты 24 часа, т. е. остаётся неподвижным для наблюдателя, как бы зависает в одной точке неба (время жизни спутника на такой орбите более 1 млн. лет). Такую орбиту называют геостационарной. Система из трёх спутников связи, находящихся на геостационарных орбитах, обеспечивает возможность ретрансляции сигналов между станциями, распо-

ложенными в любых точках Земли. Спутники на высокоэллиптических орбитах длительный период находятся в зоне «видимости» с территории РФ, вытянутой по долготе и находящейся в пределах северного полушария в т.ч. и в приполюсных районах, и для обеспечения устойчивой связи на таких орбитах достаточно 2-3 спутника. Поэтому большинство спутников связи являются именно высокоэллиптическими или геостационарными. Они находятся в определённых международных соглашениях орбитальных позициях, которые обозначаются градусами долготы того меридиана, над которым данная позиция расположена.

2. Что дала космонавтика для обслуживания телевидения?

Без спутников связи (передаваемый телесигнал) вместо одного спутника-ретранслятора потребовалось бы большое число наземных ретрансляционных пунктов. Широкое применение в качестве спутников связи (а для телевидения почти исключительное применение) нашли стационарные спутники. Их достоинством при использовании в этом качестве является постоянство радиосвязи. Стационарный спутник неподвижно «висит» над определённой точкой экватора Земли (на высоте 36 тысяч километров), как следствие этого, имеется возможность круглосуточной связи с объектом, расположенным в зоне прямой видимости со стационарного спутника. Одним спутником обслуживается огромная территория радиусом около 8 тыс. км. По сути дела, геостационарный спутник – это невидимая телевизионная башня высотой 36 тыс. км с радиовидимостью до 12-15 тыс. км.

В телевизионной системе «НТВ+» для охвата телевидением всей европейской части России используются два геостационарных спутника, размещённых над соответствующими долготами. Использование сантиметрового диапазона в спутниковой системе «НТВ+» позволяет иметь в ней очень большое число телевизионных каналов (сотни). Постоянство направления связи позволяет на приёмной стороне использовать остронаправленные антенны («тарелочки» «НТВ+» диаметром около 60 см). Система «НТВ+» рассчитана на прямой приём отдельными абонентами сигналов со станции спутника, а цифровая форма сигнала обеспечивает высокое качественное изображение.

Кроме стационарных спутников в качестве спутника связи используются высокоэллиптические спутники. К этому классу спутников относятся наши спутники связи «Молния». Они имеют сильно вытянутую орбиту (высота в апогее – 40000 км, а в перигее – 500-1000 км) и период обращения вокруг Земли 12 часов. Орбита выбирается так,

чтобы в один из двух витков, совершаемых каждые сутки, апогей находился над выбранным районом нашей территории в наиболее удобный период суток.

Первый из них, «Молния-1», был выведен в космос 23 апреля 1965 г. Тогда это произвело подлинную сенсацию – жители Владивостока впервые смотрели военный парад и демонстрацию на Красной площади одновременно с москвичами. В том же 1965 г. второй спутник серии «Молния-1» позволил провести экспериментальную передачу цветного телевидения из Москвы в Париж.

Система «Орбита» обеспечивает передачу программ Центрального телевидения на региональные центры телевидения Сибири и Дальнего Востока, откуда уже организуется вещание этих программ наряду с программами местного телевидения. Наземная сеть станций «Орбита» дополняет спутниковую систему «Молния» и работает с 1967 г. Первый советский геостационарный спутник (высотой 36 тыс. км) «Космос-637» стартовал 26 марта 1974 г. и был установлен над Индийским океаном.

Начало телетрансляций в США было положено 10 июля 1962 г., когда был запущен спутник «Телестар» – первый активный транслятор для телевизионной и телефонной связи между Америкой и Европой.

Радиосвязь, телефонная и телевизионная связь между наземными пунктами имеет ограниченные информационные возможности, поэтому внедрение все более совершенных спутников связи в практику растет очень интенсивно и даваемая ими экономия, пожалуй, самая высокая по сравнению со всеми остальными прикладными ИСЗ.

3. *Сколько и на какой высоте необходимо разместить спутников для обеспечения передачи телевизионного сигнала во все обжитые районы земного шара (кроме полярных районов)?*

Достаточно 3 спутников на геостационарной орбите над экватором на расстоянии 35,8 тыс. км от Земли, равноудаленных друг от друга на 120°, чтобы телевидением было охвачено все человечество (кроме околополюсных пространств, где сигнал будет очень слабым).

4. *Каковы возможности космической спутниковой навигации?*

Благодаря российской спутниковой системе ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система) и американской системе GPS, с 1995 г. работающей на гражданские нужды, можно определить географические координаты и скорость перемещения по Земле любого объекта (с помощью специального приёмника) с точностью до 0,001'

широты и долготы (погрешность приблизительно до – 7 м и скорость перемещения в несколько см/с). Точность может повыситься, если затратить ещё некоторое время для корректировки позиционирования с дополнительными спутниками.

Для обеспечения навигационных определений в любое время в любой точке Земли и околоземного пространства должна быть создана такая система спутников, чтобы в любой точке Земли в пределах прямой видимости всегда находилось не менее 4-х спутников. Эти условия обеспечиваются при наличии 24-х спутников с высотой круговой орбиты 20000 км, расположенных, по возможности, равномерно над поверхностью Земли. Они совершают один оборот вокруг Земли за 12 часов, так что могут быть причислены к синхронным.

В системе ГЛОНАСС спутники располагаются в 3-х орбитальных плоскостях, смещенных друг относительно друга по экватору на 120°, с равномерным расположением на каждом из них по 8 спутников через 45°. С 1995 г. российская ГЛОНАСС и американская НАВСТАР (GPS) используются совместно, что повысило эффективность навигационных определений.

Навигационные спутники широко используются для обеспечения позиционирования при полётах самолётов и плавании кораблей, для определения местонахождения экспедиций, уточнения координат самолётов при аэрофотосъёмке, для решения многих военных задач.

Фактически спутниковые навигационные системы позволяют обслуживать неограниченное число потребителей в любой момент времени в любой точке земного шара.

5. Как можно оценить эффективность космической фотосъёмки с наземным и воздушным картографированием?

Для того, чтобы отснять с орбиты всю территорию СССР с помощью камеры КАТЭ-140 (170 кг), в 1970-е гг. нужно было всего лишь 110 кадров. А если той же камерой фотографировать с самолёта, летящего на высоте 7 км, то, чтобы снять всю территорию СССР, требуется почти 300000 кадров. 50 лет обычной съёмки с Земли эквивалентно 5 годам аэрофотосъёмки и 8 минутам фотографирования из космоса (речь идёт о работе на одном и том же условном участке).

Камера КАТЭ-140 с высоты полёта «Салюта-6» в одном кадре вмещает площадь в 8 раз больше площади Бельгии. Чтобы с помощью МКФ-6М отснять территорию, равную, например, по размерам таким государствам, как Испания или Франция, требуется всего 10-15 минут,

причём на снимках отлично различимы детали земной поверхности размером в 20 м (отдельные дома и т. п.).

По американским данным, стоимость фотографирования 1 км² из космоса в 3-4 раза дешевле, чем с самолёта. Уже в 1970-е гг. были созданы фотоаппараты, позволяющие с высоты 100 км фиксировать предметы размером в 30 см (как футбольный мяч). В. Коваленко и А. Иванченко на «Салюте-6» отсняли 20000 кадров.

6. *Какие необычные фотографии были сделаны 18 мая 1966 г. с помощью спутника «Молния-1»?*

Впервые в мире удалось увидеть земной шар непосредственно из космоса с высоты почти 40 тыс. км. С такой высоты мы видим сразу всю освещенную Солнцем половину Земли как круглое небесное тело.

7. *Какой экономический эффект даёт эксплуатация метеорологических спутников?*

Уже первые метеорологические спутники дали много ценной для хозяйственной практики информации. Так, например, «Космос-144», входивший в экспериментальную метеорологическую систему «Метеор», обнаружил, что от о. Врангеля до Берингова пролива океан очистился от льда. Это позволило начать навигацию по Северному морскому пути на месяц раньше намеченного срока.

Обнаружение тайфунов и ураганов с помощью спутников стало обычным явлением, что позволяет существенно уменьшить ущерб благодаря своевременно предпринятым мерам. Особенно важно знать об ураганах рыбакам, судам на их пути.

По мнению зарубежных учёных, прогнозы погоды с достоверностью 90-95% для всего земного шара на трое суток вперёд с помощью космической метеорологической системы обеспечат ежегодную экономию около 60 млрд. долл. (расчёт для конца 1970-х гг., в начале XXI в. эти показатели будут в несколько раз выше).

Спутники «Метеор» в СССР ежегодно позволяли сохранять материальных ценностей на сумму около 700 млн. руб. (когда зарплата была около 100 руб., а булка хлеба стоила 20 копеек).

Согласно оценкам, ежегодные потери США от неблагоприятных метеорологических условий составляют около 13 млрд. долл. Эти потери в 1972 г. были уменьшены почти на 600 млн. долл. благодаря работе американских метеорологических ИСЗ (затраты на эксплуатацию которых в 1972 г. не превосходили 100 млн. долл.) [Улубеков, 1984, с. 69].

Спутники стали одним из самых эффективных средств борьбы с доставкой наркотиков. Только в 1980 г., по данным, полученным со спутников, полиция перехватила 40 судов, шедших из Колумбии в США, и конфисковала 500 т марихуаны.

ВЕРОЯТНОЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

1. Возможно ли в будущем создание космических поселений, где будут постоянно обитать тысячи людей?

В 1974 г. профессор из США Джерард О'Нилл опубликовал проект колонизации космоса. По его мнению, уже сейчас можно реально обсуждать строительство четырех моделей космических поселений. Первая модель могла бы иметь радиус 100 м, длину 1 км и период вращения 21 с. В подобном сооружении разместится около 10 тыс. чел. Основная задача этой колонии – разработка и создание следующей модели с внутренней поверхностью, в 10 раз большей. Затем еще дважды площадь колонии возрастает в 10 раз, и конструируется четвертая модель диаметром 6-7 км, длиной цилиндров в 30-40 км (период вращения около 2 минут). Во второй модели проживает по проекту 100-200 тыс. чел., в третьей – соответственно до 2 млн. Поселение № 4 вмещает уже около 20 млн. чел.

Основной элемент колонии – цилиндр из шести продольных секторов (3 из них – прозрачные). Цилиндры вращаются так, что воспроизводят земную тяжесть. Цилиндры ориентируются так, что их основание должно быть направлено на Солнце. Прозрачные секторы снабжены подвижными ставнями – зеркалами. Когда «окна» открыты, ставни отражают солнечный свет внутрь цилиндра. Меняя угол наклона ставень, можно менять количество отраженного солнечного света и таким образом создавать иллюзию постепенного изменения освещенности в течение дня. На «ночь» ставни закрываются.

Непрозрачные секторы – «долины» – покрыты слоем грунта с жилыми домами, садами и парками. Площадь цилиндра «Колонии-1» – 630 тыс. м² (31 м² на человека в жилом цилиндре и 31 м² в сельскохозяйственном секторе). Масса цилиндра – 45 тыс. т, внутренний объем 31,4 млн. м³, что при массе 1 м³ воздуха в 1,3 кг дает 47 тыс. т воздуха. Таким образом, основным компонентом колонии по массе будет воздух.

Пока у человечества вполне достаточно резервного места для заселения Земли, но в отдаленном будущем, вероятно, поселения в кос-

месе станут обычным делом. Более того, американский физик Дайсон, следуя идее «эфирных поселений» К. Э. Циолковского, считает, что человечество, расселяясь все дальше в космос, в конце концов, придет к тому, что построит огромную систему спутников солнца, двигающихся вокруг него примерно на уровне Юпитера. Имея форму пластин, спутники будут двигаться каждый по своей орбите, но в сумме, подобно своеобразной «чешуе», они создадут как бы оболочку, охватывающую Солнце со всех сторон, как бы полую сферу (поперечником с орбиту Юпитера) с Солнцем в центре. Сфера Циолковского-Дайсона своей внутренней поверхностью перехватит значительную часть солнечной энергии (Земле пока достается $1/2200000000$ часть солнечного излучения). Зато, наблюдая наше Солнце издалека, от какой-нибудь звезды нашей галактики, можно будет видеть, как оно понемногу меркнет за огромной пеленой человеческих поселений.

Американец Д. Коул предложил организовать поселения внутри астероидов. В пустотелом астероиде (после выработки глубинных пород) можно создать желаемую атмосферу и искусственную тяжесть (вращением астероида), а на его внутренней поверхности расположатся промышленные и бытовые сооружения, озера, поля. В астероиде 15×30 км можно разместить около 1 млн. чел.

В 1964 г. Покровский предложил окружить Солнце плоскими кольцами-поселениями последовательно увеличивающегося диаметра, каждое из которых повернуто на небольшой угол относительно соседнего с тем, чтобы перехватить почти все солнечное излучение. Для сооружения только одного кольца нужно разобрать, переработать и собрать вещество небесных тел, равное по массе примерно 10 массам Земли (а колец по проекту необходимо построить более 50) [Улубеков, 1984].

2. Сколько обычного топлива потребовалось бы для звездолета, чтобы за 20 лет совершить полет к ближайшей звезде и обратно?

Для полета к ближайшей звезде необходима средняя скорость около 130000 км/с. Для достижения скоростей такого порядка, даже если бы удалось создать ракетные двигатели со скоростями истечения 10 км/с (современные двигатели развивают не более $3,5$ км/с), потребовалась бы ракета с колоссальными начальными массами. Даже масса Солнца ($2 \cdot 10^{27}$ т) была бы ничтожно мала по сравнению с такой сказочно огромной ракетой.

3. В фантастических фильмах межзвездные перелеты не представляют больших сложностей или длятся всего по несколько лет, а возможно ли это с точки зрения современной физики? Что может стать топливом для будущих световых или фотонных звездолетов?

С точки зрения современных научных представлений, преодоление колоссальных космических пространств является и, вероятно будет являться главным препятствием для межзвездных перелетов. Сюжеты фантастических фильмов игнорируют эту проблему, вероятно предполагая, что наука будущего сможет найти быстрые по времени и энергетически экономные способы преодоления пространства, не упираясь в проблему невозможности достижения сверхсветовых скоростей.

Даже для достижения околосветовых скоростей (100000-300000 км/с) потребуется чудовищная мощность двигателя. Только световая ракета способна, пусть теоретически, помочь в решении задач звездной экспедиции. Потому что только ей присуща максимально возможная скорость истечения: из неё «вытекают» фотоны, кванты света, а они обладают наибольшей возможной в природе скоростью. И ещё потому, что в фотонной ракете для создания реактивной тяги полностью используется энергия, заключённая в веществе.

Процесс полного высвобождения энергии физики называют аннигиляцией вещества – вещество переходит в излучение. При этом высвобождается энергия, в миллиарды раз большая энергии, выделяющейся при сгорании самого эффективного химического топлива. Из вещества массой 1 кг при полной аннигиляции должно выделиться $9 \cdot 10^{13}$ кДж энергии, что примерно эквивалентно энергосодержанию 33 млн. т каменного угля или 20 млн. т бензина.

Водород и антиводород, аннигилируя, каждую секунду будут выделять столько энергии над каждым квадратным сантиметром зеркала отражателя, что можно было бы расплавить несколько сотен тонн стали.

Какие же перспективы открываются с созданием аннигиляционного фотонного двигателя? Ракета с таким двигателем сможет за несколько дней пролететь через всю Солнечную систему. Хватит ли горючего для полёта к ближайшей звезде? Учёные подсчитали, что если в расчётах пренебречь сопротивлением межзвёздной среды, то для полёта к ближайшей звезде на корабле должен быть сосредоточен запас горючего, масса которого в 3 раза превышает массу корабля (в 6 раз, если рассчитывать на обратный путь). Для корабля в 100 т масса

топлива может достигнуть на весь маршрут не менее 600 т, что при полной аннигиляции будет эквивалентно сжиганию 600 трлн. т угля (в начале XXI в. человечество ежегодно добывало около 5 млрд. т угля или в 120 тыс. раз меньше энергосодержания топлива только одной звёздной ракеты).

При условии, что полёт продлится около 20 лет, звездолёт ежесекундно будет сжигать топлива, по эквиваленту соответствующего 10 млн. т каменного угля (за 8 минут двигатель фотонной ракеты выделит столько же энергии, сколько содержится в угле, добываемом человечеством за год). Таким образом, если будут созданы звездолёты на основе аннигиляции, то они будут выделять энергию в чудовищных количествах, превосходя современные ракеты в десятки миллионов раз по мощности.

4. Сколько энергии необходимо потратить для придания 1 кг будущего звездолёта скорости, равной 90% световой (около 270000 км/с)?

Оказывается, для достижения околосветовой скорости необходимо затратить чудовищное количество энергии. Даже для идеальной реакции термоядерного синтеза (всё вещество расходуется на создание тяги) отношение конечной массы летательного аппарата, ускоренного до скорости, составляющей 90% световой к начальной массе, составляет ничтожно малую величину – 0,001%. Другими словами, чтобы 1 кг звездолёта разогнать до 270000 км/с, необходимо потратить около 100 т термоядерного топлива или около 2 млрд. т химического кислородно-бериллиевого или кислородно-водородного топлива.

5. С какой максимальной скоростью смогут летать пилотируемые космические корабли в будущем?

Теоретически максимальная скорость для будущих космических кораблей равна скорости света – 300000 км/с. Но быстрее, чем со скоростью, равной 5% от световой, корабль летать не сможет. Не выдержит современная радиационная защита. При более быстрой скорости каждый квадратный сантиметр поверхности космического корабля будет испытывать бомбардировку миллиардной лавины энергичных частиц межпланетного или межзвёздного газа. Эта бомбардировка приведёт к ядерным взаимодействиям в корпусе корабля, которые рождают глубоко проникающие гамма-лучи и потоки нейтронов в смертельных дозах. Обычные экраны здесь не спасут, и если не будут найдены радиационно-стойкие материалы или принципиально новые

способы радиационной защиты, то до ближайших звёзд космонавтам придётся «плестись» со скоростью 15000 км/с. По времени путешествия до ближайших звезд будет длиться не менее 100 лет.

6. Какие парадоксы времени могут поджидать будущих путешественников к другим звёздным системам?

Если в будущем будут созданы космические корабли, способные достигать околосветовых скоростей, то астронавты, вероятно, смогут столкнуться с необычными парадоксами времени (исходя из теории относительности Эйнштейна).

Допустим, что фотонная ракета отправляется в полёт на ближайшую звезду Проксима Центавра. Скорость ей придётся набирать постепенно, чтобы создающееся при этом ускорение не было чрезмерно большим и губительным для пассажиров. Будем считать, что ракета совершает полёт с ускорением, равным 3 g (т. е. втрое большим, чем земное ускорение), причём в первой половине пути скорость возрастает, а во второй половине пути, приближаясь к цели, ракета должна тормозиться с тем же замедлением (3 g). Троекратную нагрузку человек может переносить долго и безболезненно. По расчётам на ракете пройдёт 18 месяцев, прежде чем путешественники окажутся вблизи соседней звезды. Если после этого они сразу отправятся в обратный путь, то полёт в оба конца по часам ракеты займёт около 3,5 лет. Но время на ракете текло медленнее, чем на Земле. Поэтому для тех, кто остался кружить вокруг Солнца, протекло от старта ракеты до её возвращения не 3,5 года, а около 10 лет! И ещё один парадоксальный вывод: луч света до ближайшей звезды и обратно пролетает 8,6 года, тогда как путешественники преодолели то же расстояние за 3,5 года! Получается, что по «собственному» времени ракеты космонавты летели быстрее света, тогда как в земной системе отсчёта, по земным часам протекло около 10 лет, т. е. их скорость, как и следует по теории Эйнштейна, не превысила скорости света.

Центральные области нашей Галактики фотонная ракета при прежних условиях (с ускорением 3 g) достигнет по часам ракеты через 7 лет, тогда как луч света по земным часам преодолевает то же расстояние за 20000 лет. Следовательно, побывав в центре Галактики и вернувшись на Землю, космонавты не застанут никого из своих знакомых – ведь, пока они путешествовали, на Земле прошло более 40000 лет! Они почувствуют себя давно забытыми пришельцами из прошлого. Подобные ощущения пережил бы человек каменного века, если бы

внезапно, каким-то чудом оказался, например, в центре современной Москвы.

До соседней галактики – туманности Андромеды – фотонная ракета домчит человека за 9 лет (считаемых, конечно, по часам ракеты). Но, вернувшись на Землю, он узнает, что за 18 лет, проведённых им в полёте, на Земле прошло около 1,5 млн. лет!

Самые далёкие из доступных современным телескопам галактики отстоят от Земли на расстоянии порядка 1 млрд. световых лет. Но фотонная ракета преодолет эти невообразимые расстояния всего за 15 «собственных» лет. Правда, смельчаки, рискнувшие отправиться в эти космические дали, могут по возвращении обратно не найти собственный дом – ведь по земным часам их путешествие займёт более 2 млрд. лет – срок, в течение которого гарантировать сохранность Земли было бы слишком смелым прогнозом.

7. Как примерно будет проходить межзвёздный полёт на фотонной ракете?

Представим себе примерную процедуру межзвёздного полёта. На околоземной орбите собран корабль, имеющий приемлемые даже по современным представлениям геометрические размеры. Диаметр массозаборника около 20 м, длина корабля не более 100 м. Сухая масса корабля находится в пределах 500-1000 т. Основные его элементы: массозаборник с магнитной и электронной фокусирующими системами; термоядерная энергоустановка проточного типа с электромагнитным двигателем, твёрдая поверхность которого выполнена в виде расширяющегося сопла; система хранения и подачи антивеществ; рабочие, производственные и жилые сферические отсеки с необходимой биологической защитой от излучения.

Старт корабля с орбиты ИСЗ происходит с помощью прямоточного термоядерного двигателя. На границе планетной системы, где-нибудь вблизи Нептуна или Плутона, корабль тормозит и принимает на борт, т. е. подвешивает с помощью электростатических сил необходимые запасы твёрдого антиводорода и антидейтерия, подготовленного расположенным там заводом по производству антивещества. После тщательной и всесторонней проверки корабля состоится его передача экипажу. Количество членов экипажа 20-50 человек, отобранных из групп людей, которые с момента рождения проходили специальную подготовку и наблюдались врачами. Возраст, знания и навыки экипажа должны обеспечить возвращение через 60-70 лет ракетного времени как минимум трёх звездоплывателей. По земным часам это будет соот-

ветствовать десяткам тысяч лет из-за эффектов, предсказываемых теорией относительности.

Старт корабля происходит за счёт тяги термоядерного устройства. Сначала из сопла появляется бледно-фиолетовое свечение – это включился малый термоядерный реактор, потребляющий бортовые запасы дейтерия и трития. Корабль медленно разгоняется. При достижении скорости 50 км/с навстречу набегающему потоку начинает вытягиваться ярко-фиолетовое копьё электронного луча. Через некоторое время вокруг раструба массозаборника появляется едва заметное свечение и из сопла, постепенно удлиняясь, начинает истекать ослепительно-фиолетовая струя. Это включилось магнитное поле и начал работать прямоточный термоядерный двигатель. Скорость возрастает. Впереди корабля вспыхивают редкие зеленоватые звёздочки – гибнут встречные метеориты.

Через несколько месяцев полёта, когда Солнце уже нельзя отличить от других ярких звёзд, а скорость достигла 200 км/с, включается фотонный двигатель. У экипажа пропало ощущение невесомости. Через несколько суток земные службы наблюдения обнаружили вышедшие из давно намеченной точки безбрежного космоса долгожданные рентгеновские лучи – свидетели состоявшегося запуска фотонного двигателя и начала первого межзвёздного полёта.

РАЗНОЕ

1. Где можно совершить за сутки кругосветное путешествие, перемещаясь со скоростью пешехода в 5 км/час?

Мы считаем кругосветным путешествием круговой путь, внутри которого заключается земная ось. Такой путь будет тем короче, чем больше широта (чем ближе к полюсам). Весь путь нашего кругосветного путешествия = 120 км (24 × 5). Следовательно, такие «кругосветные» путешествия возможны только вблизи северного и южного полюсов Земли.

2. Какова была длина пути первого кругосветного путешествия и насколько сокращается морской путь в том же направлении в настоящее время?

Экспедиции Магеллана пришлось огигать Америку и Африку, так как в те времена не было ни Панамского канала (с 1914 г.), ни Суэцкого. Измерим путь Магеллана ниткой по глобусу, обозначив его из Испании через Атлантический океан, Панамский канал – по дуге большо-

го круга на Австралию, далее по Индийскому океану на Красное море, Суэцкий канал, Средиземное море – Гибралтар и снова в Испанию. Путь Магеллана-Элькано равнялся 60 тыс. км, второй – 40 тыс. км, т. е. на 1/3 меньше.

3. При первой кругосветной экспедиции путешественники «потеряли» одни сутки. Как это могло произойти?

Вернувшиеся после кругосветной экспедиции моряки узнали, что прибыли в пятницу, путешественники же считали этот день четвергом. Счет дней они вели точно (каждый день расписан в журнале), как же могла появиться разница на целые сутки? При путешествии на запад на каждые 15° долготы корабль теряет целый час (так, на Гринвиче, например, 12 часов, а 15° западнее только 11 утра). Когда корабль окажется на противоположной стороне Гринвича, разница будет 12 часов, а при возвращении в исходную точку «потеряются» целые сутки. В случае кругосветного путешествия на восток, можно вернуться с «лишним» днем (вместо пятницы по календарю судна была бы суббота).

4. «Рано утром вечерком в полдень на рассвете». Безусловна ли эта нелепость?

В первый момент кажется, что это утверждение нелепо. Однако такое определение времени суток не вполне бессмысленно: оно применимо ежегодно 2 раза в двух местах земного шара. На северном полярном круге 22 декабря в день зимнего солнцестояния в полдень Солнце мелькнет на горизонте и тут же исчезнет. Фактически, это мимолетное появление Солнца происходит в полдень, но это же и рассвет, и утро (восход), и вечер (закат). То же самое произойдет на южном полярном круге 22 июня.

5. На какую высоту нужно подняться, чтобы видеть вдвое дальше, чем видели до этого?

Видимый горизонт, конечно, расширяется равномерно во все стороны при возрастании высоты наблюдателя, но не в такой степени, как это многие себе представляют. Дальновидность открывающегося горизонта наблюдателя можно определить по следующей приближенной формуле: $d = \sqrt{2 \times R \times h}$, где d – дальновидность видимого горизонта, h – высота наблюдателя, R – радиус Земли, который при решении задач по указанной приближенной формуле можно округлять до 6400 км. Не зная формулы, на заданный вопрос часто отвечают: «При уве-

личении высоты вдвое видимость горизонта увеличивается также вдвое». Это неверно. Как видно из формулы, высота (h) находится под квадратным корнем. Поэтому, чтобы увидеть в два раза дальше, надо подняться в четыре раза выше. С высоты 2 м открывается кругозор дальностью в 5 км, а примерно с третьего этажа, с высоты 8 метров, можно увидеть горизонт дальностью в 10 км. С высоты 2 км откроется горизонт дальностью в 160 км, и только с высоты 8 км дальность видимого горизонта достигает 320 км. Космонавты с высоты 340-350 км могут обозревать Землю в радиусе около 2000 км. Этого достаточно, чтобы, находясь над центром Европы, видеть сразу территорию от Португалии до Белоруссии и от Исландии до Греции, т. е. всю Европу. С высоты, равной радиусу Земли, т.е. 6400 км, можно сразу обозревать половину Земного шара.

6. Какое наибольшее и какое наименьшее число пятниц возможно в феврале?

Обычно отвечают, что наибольшее число пятниц в феврале – 5, наименьшее – 4, что верно, если первое февраля високосного года выпадает на пятницу. Представим счет дней на корабле, совершающего рейсы между Чукоткой и Аляской; он регулярно покидает азиатский берег каждую пятницу в феврале високосного года, в котором первое число пришлось на пятницу. Так как корабль пересекает линию дат с запада на восток и пересекает в пятницу, то будет иметь еженедельно по две пятницы кряду, а всех пятниц насчитывает 10. Напротив, капитан, покидающий берега Аляски каждый четверг и идущий к Чукотке, будет в счете дней пропускать как раз пятницу; за весь месяц он не насчитает ни одной пятницы. И так, правильный ответ на вопрос задачи: наибольшее число пятниц, возможных в феврале – 10, наименьшее – 0.

7. На какой высоте от горизонта находится Полярная звезда в том месте, где вы живете?

Заметим, что высотой звезды называется угол возвышения светила над плоскостью горизонта. Если высота равна 90° , светило находится в зените (отвесно над головой наблюдателя). При высоте 0° светило находится на горизонте. Представим, что мы находимся на Северном полюсе. Тогда Полярная звезда будет стоять у нас над головой – в зените (в действительности же она не совсем совпадает с продолжением земной оси, а на $1,4^\circ$ удалена от Полюса Мира). Если же наблюдатель окажется на экваторе, то Полярная звезда совпадет с плоскостью ис-

тинного горизонта, и ее высота будет равна 0° . На широте 50° с. ш. высота Полярной звезды также 50° и т. д. Следовательно, мы получаем важный вывод и одновременно ответ на наш вопрос: высота Полярной звезды равна широте места.

8. Действительно ли в дни равноденствия день равен ночи?

В день равноденствия день и ночь делятся по 12 часов, если не учитывать рефракцию. Однако, если учесть рефракцию (преломление лучей в атмосфере), то выяснится, что день длиннее ночи на 4 минуты. На экваторе, где день всегда равен ночи, рефракция все-таки делает день на 4 минуты длиннее ночи. Преломление света в атмосфере Земли приводит к тому, что мы наблюдаем восход Солнца несколько раньше, а закат несколько позже, чем это имело бы место при отсутствии атмосферы. По той же причине, вблизи горизонта диск Солнца выглядит заметно сплюснутым вдоль вертикали.

9. От чего бы вают сумерки?

Всякий знает, что светает далеко до восхода Солнца. Бывает так, что Солнце должно показаться только через час, а то и больше, а небо уже начинает светиться. Светится воздушная оболочка или атмосфера, потому что её освещают лучи еще не взошедшего или уже закатившегося Солнца. В случае отсутствия атмосферы никаких сумерек не было бы, а на освещенной половине планеты контраст света и тени был бы настолько сильным, что в тени была бы полная чернота. Однако, Солнце, находясь под горизонтом, освещает воздух, который, рассеивая свет, дает освещение и на теневую сторону Земли, находящуюся недалеко от дневного полушария. Конечно, это может произойти только в тех случаях, когда Солнце находится не очень низко под горизонтом, т.е. когда оно скоро должно взойти или только недавно зашло.

Сумерки различаются в зависимости от позиции Солнца относительно горизонта. Установлены три подвида сумерек: гражданские сумерки (самые светлые, по окончании или перед их началом видны самые яркие звёзды), навигационные сумерки (невозможно читать без дополнительного освещения) и астрономические сумерки (до или после них – астрономическая ночь: видны все звёзды).

Гражданские сумерки – наиболее светлая часть сумерек, длящаяся от момента видимого захода Солнца за линию горизонта до момента погружения центра Солнца под линию горизонта на 6° . Считается, что в эту часть сумерек на открытом месте можно без искусственного освещения выполнять любые работы.

Навигационные сумерки – достаточно светлая часть сумерек, когда центр Солнца находится ниже горизонта от 6 до 12°. Считается, что в эту часть сумерек естественное освещение позволяет судоводителю ориентироваться по береговым предметам при хождении корабля вблизи берега.

Астрономические сумерки – время, когда Солнце находится от 12 до 18° ниже горизонта. Для обычного наблюдателя астрономические сумерки неотличимы от ночи.

Продолжительность сумерек перед восходом и после захода Солнца сильно зависит от широты места. В приполярных районах сумерки (если бывают) могут длиться по несколько часов. На полюсах сумерек не бывает в течение месяца до и после зимнего солнцестояния. На полюсах сумерки могут длиться до двух недель, в то время как на экваторе они могут длиться до двадцати минут. За полярными кругами летом день не прерывается на ночь, и сумерки длятся буквально неделями (в полярные весну и осень). В районах высоких широт ниже полярного круга дней без перерыва на ночи не бывает, но сумерки могут длиться от заката до рассвета. Это явление часто называется «Белые ночи».

10. В какие месяцы необходимо искать в ночном небосводе свои (по месяцу рождения) зодиакальные созвездия?

Многие люди интересуются гороскопом и многое знают о «своем» знаке зодиака. Так, «Близнецы» – это знак рожденных в июне, «Рак» – в июле и т. д. Можно предположить, что в июне в ночном небе мы легко обнаружим свое созвездие «Близнецов», как и в июле – «Рака». Однако, это не так. Солнце – ближайшая к нам звезда. При движении Земли вокруг Солнца часть звезд всегда окажется позади Солнца и невидима с Земли из-за яркого солнечного света. Земля перемещается вокруг Солнца в направлении против часовой стрелки, и в том же направлении периодически «исчезают» некоторые созвездия, которые расположены недалеко от плоскости земного пути. Звезды же, сравнительно отдаленные от этой плоскости, видны всегда, как например, Полярная, Вега, Капелла и много других. Все это легко показать в комнате при наличии глобуса и лампы, находящейся в середине комнаты на уровне центра глобуса. Глобус перемещается вокруг «лампы-Солнца», благодаря чему некоторые участки стены с различными предметами (воображаемыми созвездиями) окажутся позади лампы. «Звезды» же на потолке видны постоянно.

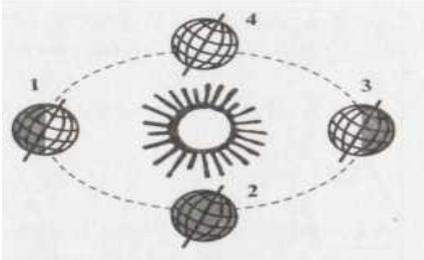
В июне созвездие «Близнецов» можно было бы увидеть в полдень за Солнцем (если бы предположить, что Солнце погасло), а ночью в июне будет хорошо видно декабрьское созвездие «Стрельца», тогда как в декабре можно ночью хорошо увидеть «Близнецов». Таким образом, зодиакальные созвездия в ночном небе необходимо искать через полгода от соответствующего зодиакального месяца, когда они будут смотреться весьма отчетливо.

11. Откуда взялась поговорка «быть на седьмом небе»?

Звезды раньше, по церковной «науке», считались «прикрепленными к твердому небу», вращающемуся вокруг неподвижной Земли («центра мира»). Но помимо звезд, как бы неподвижных по отношению друг к другу, мы наблюдаем ряд светил – Солнце, Луну, планеты, которые меняют свое положение на фоне неподвижных звезд. С древних времен люди подметили указанные перемещения некоторых светил и придумали ряд «хрустальных небес» – для каждого светила «свое» небо. За этими небесами находилось седьмое небо, небо неподвижных звезд, а еще дальше – место для «богов». Очевидно, что попасть на седьмое небо значило приблизиться к «небожителям» – богам. Отсюда и пошла поговорка о «седьмом небе».

**ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ ГОДОВОЕ И СУТОЧНОЕ
ДВИЖЕНИЕ ЗЕМЛИ**

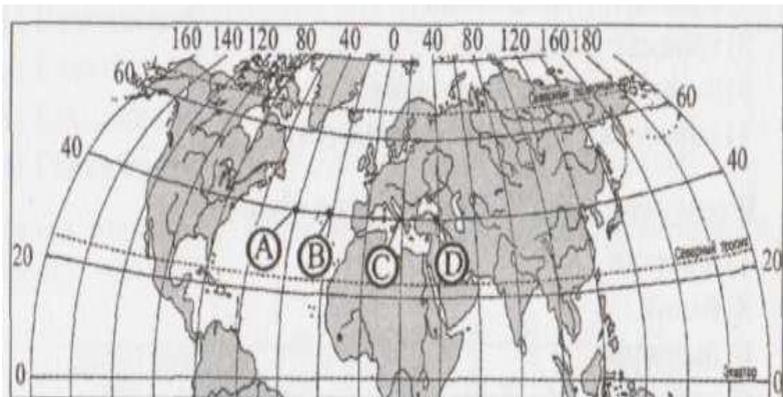
1. На какой из параллелей: 20° с.ш., 10° с.ш., на экваторе, 10° ю.ш. или 20° ю.ш. – Солнце в полдень будет находиться выше всего над горизонтом в день, когда Земля находится на орбите в положении, обозначенном на рисунке цифрой 1? Свой ответ обоснуйте.



которой лежит понимание зависимости положения Земли относительно Солнца и высоты Солнца в разное время года. Под цифрой 1 обозначен день летнего солнцестояния (необходимо пояснить, что если повернуто к Солнцу северное полушарие – северный полюс, то это

лето в северном полушарии). В это время Солнце в зените находится над Северным тропиком, следовательно, на $23,5^{\circ}$ с.ш. Высота Солнца будет уменьшаться при удалении от данной параллели. Поэтому выше всего Солнце будет над той параллелью, которая ближе всего к Северному тропику. Именно в этом месте Солнце выше всего над горизонтом. Из предложенных ответов необходимо выбрать 20° с.ш.

2. В каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Северного полушария, Солнце будет находиться ниже всего над горизонтом в



11 часов по времени Гринвичского меридиана? Свой ответ обоснуйте.

При выполнении данного задания нужны знания об осевом движении Земли и о часовых поясах. Максимальная высота Солнца в данных пунктах будет в полдень. В задании предлагается определить пункт с минимальной высотой Солнца над горизонтом. Все пункты расположены на одной широте (40 с.ш.), а следовательно, на высоту Солнца влияет не только осевое вращение Земли. Поэтому нужно выяснить, на каком меридиане полдень, а затем найти пункт, который расположен дальше других от этого меридиана. Определяем, на каком меридиане в 11 часов по Гринвичу полдень. Этот меридиан расположен на 1 час восточнее, а разница в 1 час по времени соответствует расстоянию в 15° между меридианами ($360 : 24 = 15$). Следовательно, на меридиане 15° в.д. Солнце находится выше всего над горизонтом. По мере удаления от этого меридиана к западу и востоку высота уменьшается. Из всех пунктов, предложенных в задании, нужно найти тот, который дальше всех от этого меридиана. Это пункт А, именно в нём Солнце будет находиться ниже всего над горизонтом.

3. Укажите отрезки двух меридианов, на которых 22 июня в полночь по местному времени меридиана 45° в.д. тень от Солнца падает на юг.

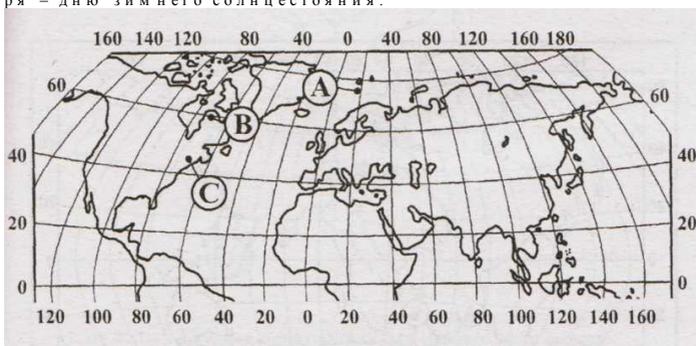
При ответе необходимо продемонстрировать знания о географических следствиях осевого и орбитального движений Земли. Итак, рассуждаем: 22 июня – это день летнего солнцестояния. Значит, Солнце стоит в зените над Северным тропиком. В это время в северном полушарии полярный день наблюдается от северного полярного круга до северного полюса, то есть Солнце не заходит здесь за горизонт. По условию задачи дан меридиан в 45° , следовательно, на нем в районе от северного полярного круга до северного полюса тень от Солнца будет падать на юг в полночь по местному времени этого меридиана. Земля вращается против часовой стрелки, вокруг своей оси, и, когда на меридиане 45° в.д. полночь, на противоположной стороне – на меридиане, с разницей в 180° – полдень. Чтобы узнать этот меридиан, нужно из 180° вычесть 45° , получается 135° з.д. На этом меридиане в полдень тень от Солнца будет падать на юг на отрезке от Северного тропика (где Солнце находится в зените) до Южного полярного круга (за которым наблюдается полярная ночь).

4. Укажите отрезки двух меридианов, на которых 22 декабря в полночь по местному времени меридиана 15° з.д. тень от Солнца падает на север.

22 декабря – это день зимнего солнцестояния, значит, солнце стоит в зените над Южным тропиком. В это время в южном полушарии полярный день наблюдается от Южного полярного круга до Южного полюса, то есть солнце не заходит за горизонт. В условии задачи обозначен меридиан 15° з.д., следовательно, на этом меридиане в районе от Южного полярного круга до Южного полюса тень от Солнца будет падать на север в полночь по местному времени этого меридиана. Наша Земля вращается с запада на восток вокруг своей оси, и, когда на меридиане 15° з.д. – полночь, на противоположной стороне – на меридиане с разницей в 180° – полдень. Чтобы узнать этот меридиан, нужно из 180° вычесть 15° , получается 165° з.д. На этом меридиане в полдень тень от Солнца будет падать на юг на отрезке от Южного тропика (от того места, где Солнце находится в зените) до Северного полярного круга (за которым наблюдается полярная ночь).

5. Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Северного полушария, 25 декабря Солнце раньше (по времени Гринвичского меридиана) поднимется над горизонтом. Ход ваших рассуждений запишите.

В этом задании необходимо применить знания об осевом и орбитальном движениях Земли. Итак, 25 декабря – это очень близко к 22 декабря – дню зимнего солнцестояния.



В Северном полушарии зима, ночь длиннее дня, и продолжительность светового дня уменьшается при приближении в Северному полярному кругу, а между Северным полярным кругом и Северным полюсом – полярная ночь. Мы знаем, что Земля вращается с запада на

восток, поэтому можно предположить, что в точке, которая находится восточнее, Солнце раньше поднимется над горизонтом. Но точка А расположена за полярным кругом, и там 25 декабря полярная ночь, и Солнце вообще не поднимается над горизонтом. Точки В и С находятся на одном меридиане, но точка В ближе к северному полярному кругу. Ответ: С.

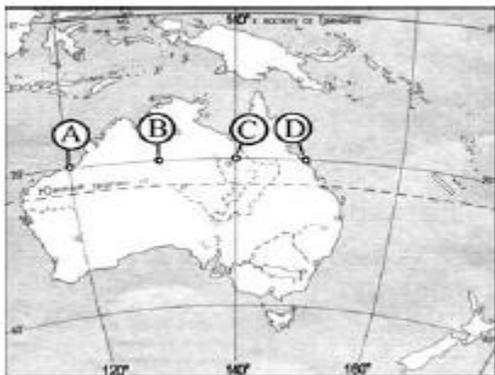
6. В каком из городов: Риге, Москве, Новосибирске или Красноярске – Солнце будет находиться ниже всего над горизонтом в 10 часов по времени Гринвичского меридиана? Свой ответ обоснуйте.

При ответе необходимо владеть понятиями *часовой пояс, осевое движение Земли* и его связь с высотой Солнца в течение суток, уметь применять эти знания на практике.

Все перечисленные города расположены примерно на одной широте, на высоту влияет только осевое вращение Земли. Известно, что высота Солнца зависит от времени суток и максимальной бывает в полдень, т.е. в 12 часов дня. Следовательно, нужно узнать, на каком меридиане полдень, а затем найти пункт, который расположен дальше остальных от этого меридиана. Определяем, на каком меридиане в 10 часов по Гринвичу полдень. Этот меридиан расположен в восточном полушарии, на 2 часовых пояса восточнее. Мы знаем, что расстояние между поясами равно 15° , а между двумя 30° . Следовательно, в 10 часов по Гринвичу полдень будет на меридиане – 30° в.д. Из всех перечисленных городов дальше всего от этого меридиана находится Красноярск. Поэтому именно в этом городе Солнце будет находиться ниже всего над горизонтом.

7. На каком меридиане расположен пункт, если известно, что в полдень по времени Гринвичского меридиана местное солнечное время в нём 5 часов? Ход ваших рассуждений запишите.

В 12 часов по времени Гринвича местное солнечное время в указанном пункте 5 часов. Земля вращается с запада на восток, следовательно, можно определить, в каком полушарии расположен данный пункт – это западное полушарие. Различие в 1 час соответствует расстоянию в градусах, равному 15° между меридианами ($360 : 24 = 15$). Если разница во времени ($12-5=7$) часов, значит, необходимо 7 умножить на 15° , и мы получим 105° . То есть меридиан, на котором расположен пункт, равен 105° з.д.



8. *Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Австралии, 1 февраля солнце будет находиться выше всего над горизонтом в 5 часов утра по солнечному времени Гринвичского меридиана. Запишите обоснование вашего ответа.*

При ответе на данное задание необходимо знать понятия «часовой пояс», «осевое движение Земли» и его связь с высотой Солнца в течение суток и уметь применять эти знания на практике. Все данные города расположены примерно на одной широте, на высоту влияет только осевое вращение Земли. Солнце выше всего над горизонтом в полдень, поэтому нам необходимо определить меридиан, где в данный момент 12 часов дня, а затем посмотреть, какой населённый пункт ближе всего к нему. Для определения полуденного времени используем вычитание: 12 часов минус 5, получаем 7 часов. Известно, что разница между поясами равна 15° . Умножаем 7 часов на 15° и определяем, что меридиан, где сейчас полдень, равен 105° в.д. Ближе всего к этому меридиану пункт А. Следовательно, именно здесь Солнце будет находиться выше всего над горизонтом.

9. *При каком угле наклона земной оси к плоскости орбиты в Санкт-Петербурге можно было бы наблюдать полярный день? Ход ваших рассуждений запишите.*

Полярный день устанавливается от полюса до Северного или Южного полярного кругов, которые расположены на $66,5^\circ$, эта же величина угла наклона земной оси к плоскости орбиты. Если бы Санкт-Петербург находился на этой широте, то вместо «белых ночей» (когда Солнце уходит недалеко за горизонт) в городе можно было бы наблюдать полярный день. Но в данном задании рассматривается другой вариант – полярные дни в Санкт-Петербурге. Город расположен на 59° (60°) с.ш., поэтому если земная ось к плоскости орбиты будет наклонена не на $66,5^\circ$, а на 59° , то там можно будет наблюдать полярный день.

10. *Можно ли утверждать, что вы находитесь в Северном полушарии, если в пункте, где вы находитесь, тень от предметов в полдень падает на север? Свой ответ обоснуйте.*

В Северном полушарии тень от предметов падает на север. Это всегда точно для всего полушария в дни равноденствий. Но в дни летнего солнцестояния, когда Солнце в зените на одной из параллелей между экватором и северным тропиком, тень от предметов, расположенных между экватором и всеми параллелями до Северного тропика, падает на юг. Также нельзя утверждать, что если тень от предметов падает на север, то мы находимся в Северном полушарии, потому что в дни зимнего солнцестояния Солнце бывает в зените над одной из параллелей в Южном полушарии между экватором и Южным тропиком. При этом в Южном полушарии на любой параллели между Южным тропиком и экватором тень от предметов в полдень будет тоже падать на север, как и в Северном полушарии.

11. *Можно ли утверждать, что на территории всех стран Южной Америки в день летнего солнцестояния можно в полдень наблюдать тени от предметов, падающие на юг? Запишите обоснование своего ответа.*

Утверждение верное. В день летнего солнцестояния Солнце в зените расположено над Северным тропиком. Северный тропик проходит севернее материка Южная Америка. Когда Солнце в зените над Северным тропиком, то от всех предметов, расположенных к югу от данного тропика, тень падает только на юг.

12. *В каком из африканских государств наблюдается наименьшая продолжительность светового дня в июле? Запишите обоснование своего ответа.*

В июле Солнце в зените на параллелях между экватором и северным тропиком, это дни летнего солнцестояния. Следовательно, при удалении от Северного тропика на север продолжительность дня увеличивается. В это время в южном полушарии всё наоборот. При удалении объектов от Северного тропика к югу, в южное полушарие, продолжительность дня сокращается. Поэтому в том государстве, которое дальше всего удалено на юг в южном полушарии, будет наблюдаться наименьшая продолжительность светового дня в июле. На юге материка Африка расположено государство ЮАР. Значит, на его территории и будет минимальная продолжительность дня в июле.

13. Назовите штат СШ А, на территории которого можно установить солнечные часы, которые некоторое время в году будут «работать» круглосуточно. Когда тень-стрелка таких часов длиннее – в полдень или в полночь?

Солнечные часы показывают только, если на них попадают солнечные лучи. Круглосуточно солнце может светить только в двух местах земного шара: в дни летнего солнцестояния между Северным полярным кругом и северным полюсом и в дни зимнего солнцестояния – между Южным полярным кругом и Южным полюсом. Так как СШ А расположены в Северном полушарии, а территория штата Аляска – к северу от Северного полярного круга, то в день летнего солнцестояния, когда устанавливается полярный день, Солнце круглосуточно не садится за горизонт на Аляске, солнечные часы «работают» тоже круглосуточно. При максимальной высоте Солнца тень от предмета всегда короче, чем в другое время суток, поэтому тень-стрелка таких солнечных часов длиннее в полночь.

14. Определите географическую широту пункта, если известно, что в дни равноденствия полуденное солнце стоит там над горизонтом на высоте 49° (тень от предметов падает на север). Ход ваших рассуждений запишите.

Известно, что если тень от предметов в данном пункте падает на север, значит, этот пункт находится в северном полушарии. Из следствия вращения Земли вокруг Солнца известно, что в дни равноденствия Солнце стоит в зените над экватором, т.е. его высота в полдень составляет 90° . В эти дни высота полуденного Солнца уменьшается в направлении к северу и к югу от экватора в соответствии с широтой. Над неизвестной параллелью Солнце находится на высоте 49° . Нам нужно найти разницу в высоте Солнца над экватором и над искомой параллелью, что составляет: $90^\circ - 49^\circ = 41^\circ$. Следовательно, географическая широта пункта равна 41° с.ш.

15. Определите географические координаты пункта, расположенного в Евразии, если известно, что 23 сентября в 4 часа по солнечному времени Гринвичского меридиана в этом пункте полдень и Солнце находится на высоте 40° над горизонтом. Ход ваших рассуждений запишите.

Сначала определим широту. Нам известно, что 23 сентября – это день осеннего равноденствия. В этот день Солнце находится в зените над экватором, и его высота в полдень составляет 90° . При удалении от

экватора к северу и к югу высота Солнца уменьшается в соответствии с широтой. Простым вычислением устанавливаем широту, которая равна: $90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$. Так как материк Евразия расположен в северном полушарии, следовательно, 50° с.ш. Далее нам необходимо определить долготу. Нам известно, что в 4 часа по Гринвичу Солнце в этом пункте находится на высоте 40° , следовательно, нужно найти разницу в часах и градусах между неизвестным пунктом и Гринвичем: $12 - 4 = 8$ часов разницы. Расстояние в градусах между часовыми поясами составляет 15° , поэтому 8 умножаем на 15° , получается 120° в.д.

Ответ: 50° с.ш., 120° в.д.

16. Определите географическую широту пункта, если известно, что 22 декабря в полдень по местному солнечному времени Солнце в нём находится на высоте $63,5^\circ$ над горизонтом (пункт находится в Южной Америке). Ход ваших рассуждений запишите.

22 декабря – это день зимнего солнцестояния, когда Солнце находится в зените над Южным тропиком ($23,5^\circ$ ю.ш.) и высота его равна 90° . Чтобы определить широту пункта, где Солнце находится на высоте $63,5^\circ$, нужно от 90° вычесть $63,5^\circ$, но так можно определять только в дни равноденствия, когда Солнце в зените над экватором. В данном случае Солнце находится на широте $23,5^\circ$, следовательно, к полученной разности необходимо прибавить это число. Получаем следующее:

$$90^\circ - 63,5^\circ = 26,5^\circ \text{ и к } 26,5^\circ + 23,5^\circ = 50^\circ \text{ ю.ш.}$$

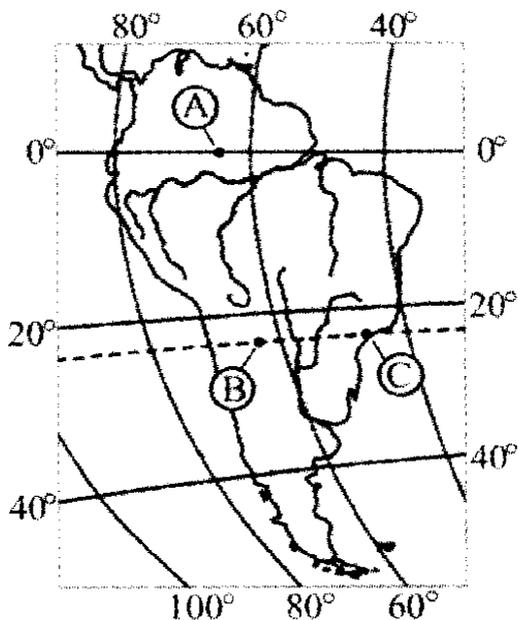
17. Определите, как изменилась бы (увеличилась или уменьшилась) продолжительность дня в июне в ЮАР, если бы угол наклона земной оси к плоскости орбиты составил 50° . Ход ваших рассуждений запишите.

Угол наклона земной оси к плоскости орбиты соответствует величине широты полярных кругов. Следовательно, если угол наклона будет равен 50° , то и полярные круги будут находиться на 50° с.ш. или ю.ш. ЮАР расположена в южном полушарии, а в июне в южном полушарии – зима, продолжительность дня уменьшается к южному полярному кругу, а от него до южного полюса устанавливается полярная ночь. Следовательно, чем ближе к полярному кругу, тем день короче. Поэтому если Южный полярный круг станет ближе к экватору, а соответственно и ближе к ЮАР, то день в этой стране станет короче.

18. *Определите, как изменилась бы (увеличилась или уменьшилась) продолжительность дня в декабре в Новой Зеландии, если бы угол наклона земной оси к плоскости орбиты составил 55° . Ход ваших рассуждений запишите.*

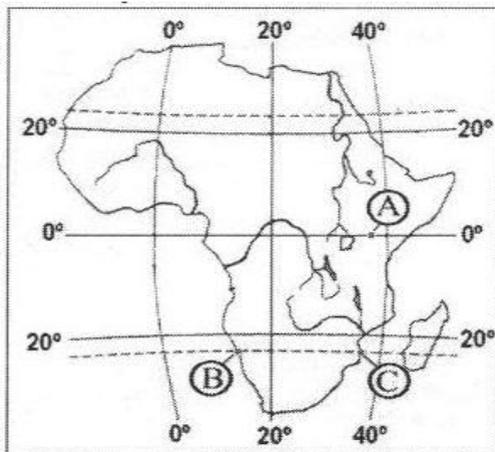
Рассуждаем аналогично. Если угол наклона будет равен 55° , то и полярные круги будут находиться на 55° с.ш. или ю.ш. Новая Зеландия расположена в южном полушарии, а в декабре в южном полушарии – лето, продолжительность дня увеличивается к южному полярному кругу, а от него до южного полюса устанавливается полярный день. Следовательно, чем ближе к полярному кругу, тем день длиннее. Поэтому если Южный полярный круг станет ближе к экватору, а соответственно и ближе к Новой Зеландии, то день в этой стране станет длиннее [Тренировочные... , 2012].

19. *Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Южной Америки, Солнце будет находиться выше всего над горизонтом 22 декабря в полдень по времени меридиана 60° з.д. Ход ваших рассуждений запишите.*



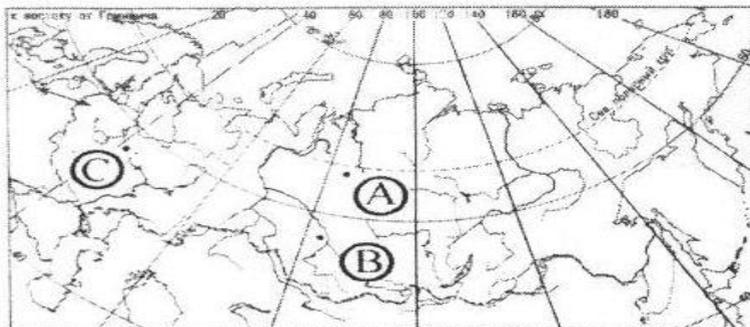
Выше всего над горизонтом Солнце будет находиться в пункте В. Пункт В расположен на Южном тропике, где Солнце в этот момент находится в зените. Пункт А находится не на тропике, а на экваторе. Пункт С расположен от 60° з.д. дальше, чем пункт В. В пункте С (45° з.д.) в полдень на 60° з.д. будет 13.00, а в пункте В (65° з.д.) – 11.40.

20. *Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Африки, Солнце будет находиться выше всего над горизонтом 22 декабря в полдень по времени меридиана 30 в.д. Ход ваших рассуждений запишите.*



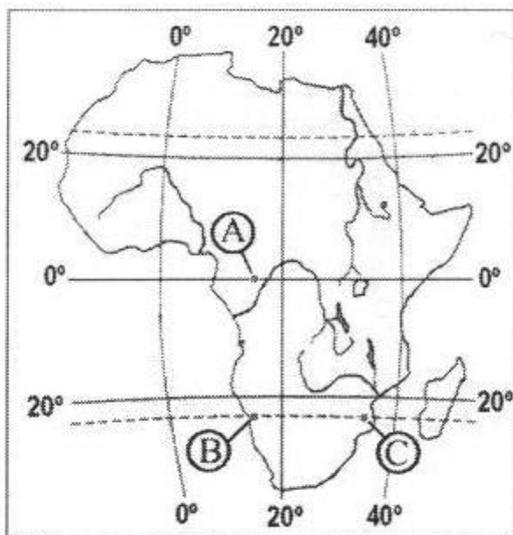
Выше всего над горизонтом Солнце в пункте С. Пункт С расположен на Южном тропике, где Солнце в этот момент находится в зените. Пункт А находится не на тропике. Пункт С расположен ближе пункта В к меридиану, над которым Солнце в этот момент стоит в зените.

21. *Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте России, 20 декабря Солнце раньше всего по времени Гринвичского меридиана поднимется над горизонтом. Ход ваших рассуждений запишите.*



Раньше всего над горизонтом Солнце поднимется в пункте В. Пункт В расположен южнее пункта А. Пункт В расположен восточнее пункта С.

22. Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Африки, Солнце будет находиться выше всего над горизонтом 22 декабря в полдень по времени Гринвичского меридиана. Какова высота Солнца над горизонтом в пунктах В и С в полдень на Гринвиче? Ход ваших рассуждений запишите.

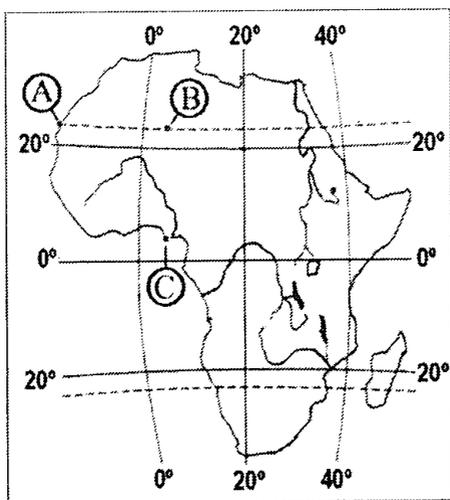


Выше всего над горизонтом Солнце будет в пункте В. Пункт В расположен на Южном тропике, где Солнце в этот момент нахо-

дится в зените. Пункт А находится не на тропике. Пункт В расположен ближе пункта С к меридиану, над которым Солнце в этот момент стоит в зените.

Время и высота Солнца над горизонтом тем сильнее отличаются от Гринвического полудня, чем дальше от него отстоит. Пункт В отстоит от Гринвича на 15° к востоку, и высота Солнца отличается от зенита настолько же ($90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$). Пункт С отстоит от Гринвича на 35° , и высота Солнца на столько же ($90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$).

23. *Определите, в каком из пунктов, обозначенных буквами на карте Африки, Солнце будет находиться выше всего над горизонтом 22 июня в полдень по времени Гринвического меридиана. Ход ваших рассуждений запишите.*



Выше всего над горизонтом Солнце будет в пункте В. Пункт В расположен на Северном тропике, где Солнце в этот момент находится в зените. Пункт С находится не на тропике. Пункт В расположен ближе пункта А к меридиану, над которым Солнце в этот момент стоит в зените.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азимов, А. Путеводитель по науке. От египетских пирамид до космических станций / А. Азимов; пер. с англ. – М.: ЗАО «Центрполиграф», 2006. – 788 с.
2. Арабаджи, М.С. Тайны земных глубин / М.С. Арабаджи, В.С. Мильничук. – М.: Недра, 1983. – 136 с.
3. Барабой, В.А. Солнечный луч / В.А. Барабой. – М.: Наука, 1976. – 240 с.
4. Бестужев-Лада И.В. У истоков мироздания: научно-художественная лит-ра / И. В. Бестужев-Лада. – М.: Дет. лит., 1987. – 192 с.
5. Большая книга занимательных фактов в вопросах и ответах / авт.-сост. А.П. Кондрашов. – М.: РИПОЛ классик, 2007. – 704 с.
6. Борисов, П.М. Может ли человек изменить климат. Два проекта / П.М. Борисов. – 2-е изд., дополи. – М.: Наука, 2003. – 270 с.
7. Бурдаков, В.П. Ракеты будущего / В.П. Бурдаков, Ю.И. Данилов. – М.: Атомиздат, 1980. – 160 с.
8. Бялко, А. В. Наша планета – Земля / А. В. Бялко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1989. – 240 с.
9. Войткевич, Г.В. Происхождение и химическая эволюция Земли / Г.В. Войткевич. – М.: Наука, 1983. – 168 с.
10. Воронцов-Вельяминов, Б.А. Астрономия: учебник для 10 класса средней школы / Б.А. Воронцов-Вельяминов. – Изд. 13-е. – М.: Просвещение, 1981. – 145 с.
11. Голубчиков, Ю.Н. Основы гуманитарной географии: учеб. пособие / Ю.Н. Голубчиков. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 364 с. – (Высшее образование).
12. Дубах, Г. 1001 вопрос об океане и 1001 ответ / Г. Дубах, Р. Табер; перевод с англ. С.Ю. Яржембовского; под ред. и с предисл. А. В. Некрасова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 188 с.
13. Завельский, Ф.С. Время и его измерение / Ф.С. Завельский. – 5-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 256 с.
14. Задачи по географии: пособие для учителей / под ред. А.С. Наумова. – М.: МИРОС, 1993. – 192 с.
15. Занимательные географические задачи и вопросы: пособие для учителей. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Просвещение, 1978. – 128 с.
16. Зигель, Ф.Ю. Занимательная космонавтика / Ф.Ю. Зигель. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1970. – 304 с.

17. Зигель, Ф.Ю. Планета Земля (ее прошлое, настоящее, будущее) / Ф.Ю. Зигель. – М.: Мысль, 1974. – 223 с.
18. Книга рекордов Гиннеса / редактор английского издания Дональд Макфарлан, редактор русского издания Игорь Зайцев. – М.: Прогресс, 1991. – 320 с.
19. Коваленко, А.П. Приключения путеводной стрелки / А.П. Коваленко, 2-е изд. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 256 с.
20. Кривоуцкий, А.Е. Голубая планета: Земля среди планет. Географический аспект / А.Е. Кривоуцкий. – М.: Мысль, 1985. – 335 с.
21. Куликов, К.А. Астрономия и народное хозяйство / К.А. Куликов. – М.: Наука, 1981. – 168 с.
22. Куликов, К.А. Вращение Земли / К.А. Куликов. – М.: Недра, 1985. – 159 с.
23. Куликов, К.А. Планета Земля / К.А. Куликов, Н.С. Сидоренков. – изд. 2-е дополненное. – М.: Наука, 1977. – 192 с.
24. Куницкий, Р.В. День и ночь, времена года / Р.В. Куницкий. – Л.: ОГИЗ Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1946. – 32 с.
25. Лосев, К.С. Вода / К.С. Лосев. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 272 с.
26. Лосев, К.С. Климат вчера, сегодня... и завтра? / К.С. Лосев. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 176 с.
27. Марленский, А.Д. Основы космонавтики: факультатив. курс: учебное пособие для учащихся / А.Д. Марленский. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1985. – 158 с.
28. Мезенцев, В.А. Земля неразгаданная / В.А. Мезенцев. – М.: Мысль, 1983. – 255 с.
29. Мезенцев, В. Энциклопедия чудес: книга первая «Обычное в необычном» / В. Мезенцев. – М.: Знание, 1969. – 400 с.
30. Мизун, Ю.Г. Наше здоровье и магнитные бури / Ю.Г. Мизун, В.И. Хаснулин. – М.: Знание, 1991. – 192 с.
31. Михайлов, А.А. Земля и её вращение / А.А. Михайлов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 80 с. (библиотечка «Квант». Вып. 35).
32. Мони́н, А.С. История климата / А.С. Мони́н, Ю.А. Шишков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 407 с.
33. Неклюкова, Н.П. Общее землеведение. Земля как планета. Атмосфера. Гидросфера: учеб. пособие для студентов геогр. специальностей пед. ин-тов / Н.П. Неклюкова. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Просвещение, 1976. – 336 с.

34. Новиков, Э.А. Планета загадок / Э.А. Новиков. Изд. 4-е, испр. – Ленинград: «Недра», 1987. – 240 с.
35. Перельман, Я.И. Занимательная астрономия / Я.И. Перельман. – 11-е изд.-е. – М.: Наука, 1966. – 211 с.
36. Прянишников, В.И. Занимательное мироведение / В.И. Прянишников. – Л.: Молодая гвардия, 1935. – 256 с.
37. Савцова, Т. М. Общее землеведение: учеб. пособие для студ. высших пед. учеб. заведений / Т.М. Савцова. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 416 с.
38. Свиточ, А.А. Палеогеография: учебник для студентов высших учебных заведений / А.А. Свиточ, О.Г. Сорохтин, С.А. Ушаков; Под ред. Г.А. Сафьянова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
39. Селиверстов, Ю.П. Землеведение: учеб. пособие для студентов вузов / Ю.П. Селиверстов, А.А. Бобков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.
40. Синицын, В.М. Введение в палеоклиматологию / В.М. Синицын. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1980. – 248 с.
41. Справочник необходимых познаний / редактор А. Стаценко. – Пермь: «Вся Пермь», «Алгос-Пресс», 1995. – 512 с.
42. Томилин, А.Н. Занимательно о космогонии / А.Н. Томилин. – М.: Молодая гвардия, 1975. – 208 с.
43. Тренировочные экзаменационные задания по географии и алгоритмы их решений / автор – составитель Л.В. Климентьева, научный руководитель Л.Г. Груздева. – Благовещенск: Амурской областной ИРО, 2012. – 88 с.
44. Улубеков, А.Т. Богатства веземных ресурсов / А.Т. Улубеков. – М.: Знание, 1984. – 256 с.
45. Уманский, С.П. Космонавтика сегодня и завтра: кн. для учащихся / С.П. Уманский. – М.: Просвещение, 1986. – 175 с.
46. Фишер, Д. Рождение Земли / Д. Фишер. – М.: Мир, 1990. – 260 с.
47. Хофельманн, К. 1000 катастроф Вселенной / К. Хофельманн; пер. с нем. Ю. Шестакова; оформление серии и компьютерный дизайн студии «Дикобраз». – М.: «Издательство «Олимп», «Издательство АСТ», 2001. – 208 с.
48. Хренов, Л.С. Время и календарь / Л.С. Хренов, И.Я. Голуб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 128 с.
49. Чирков, Ю. Шифр Апокалипсиса. Книга катастроф / Ю. Чирков. – М.: Грифон, 2006. – 352 с.

50. Шкловский, И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть / И.С. Шкловский. – М.: Наука, 1975. – 368 с.
51. Шубаев, Л.П. Общее землеведение: учеб. пособие для студентов – географов ун-тов и пед. ин-тов / Л.П. Шубаев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 455 с.
52. Энциклопедия для детей: т. 3 (География) / глав. ред. М.Д. Аксёнова. – 3-е изд., испр. – М.: Аванта+, 2000. – 704 с.
53. Энциклопедия для детей: т. 3 (География) / сост. С.Т. Исмаилова. – М.: Аванта+, 1994. – 640 с.
54. Ямковой, В.А. География воды в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2010. – 267 с.
55. Ямковой, В.А. География катастроф и опасностей в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2009. – 267 с.
56. Ямковой, В.А. Занимательная география в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений: в 2 ч. / В.А. Ямковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2006. – Ч.1. – 183 с.
57. Ямковой, В.А. Занимательная геоэкология в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2007. – 186 с.
58. Ямковой, В.А. Занимательная космонавтика в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой, И.А. Алексеев. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2011. – 230 с.
59. Ямковой, В.А. Знаете ли вы Амурскую область?: учеб. пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой, Н.Г. Павлюк, В.В. Ульянова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2011. – 240 с.
60. Ямковой, В.А. Погода, климат, атмосфера в вопросах и ответах: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / В.А. Ямковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2008. – 170 с.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

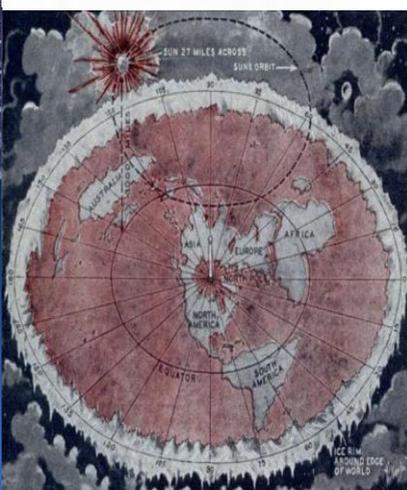
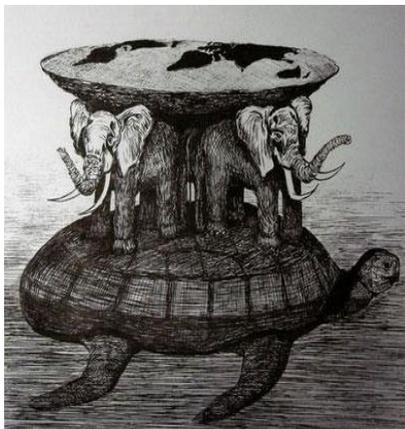
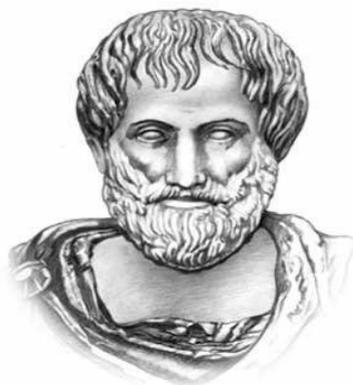
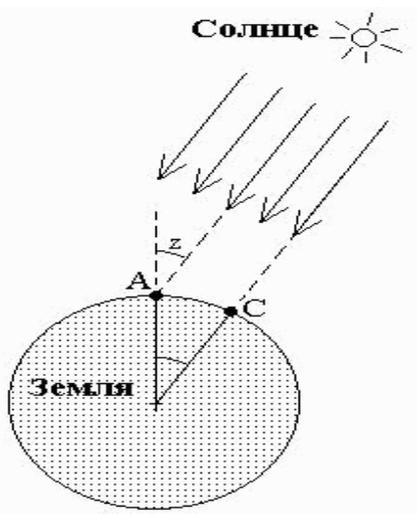


Рис. 1. Древние представления о форме Земли: Земля на слонах и черепахе, на трех китах, дискообразная Земля.



АРИСТОТЕЛЬ
384-322 до н. э.

Рис. 2. Эратосфен первым измерил Землю, Клавдий Птолемей создал геоцентрическую модель мира, Аристотель систематизировал доказательства шарообразности Земли.

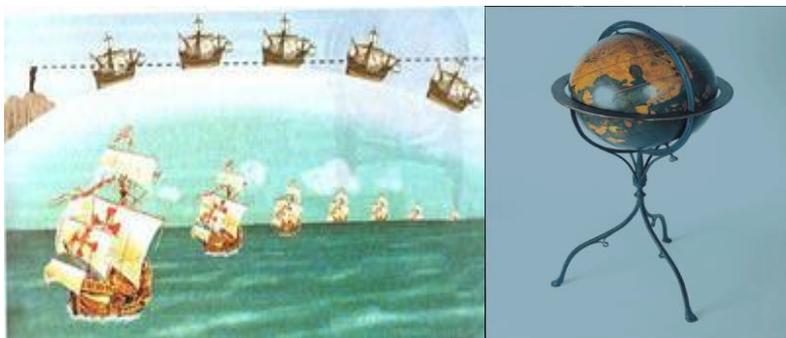
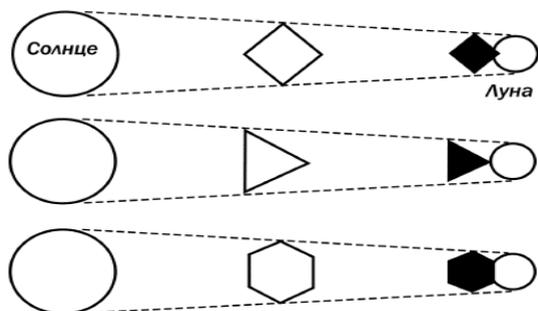
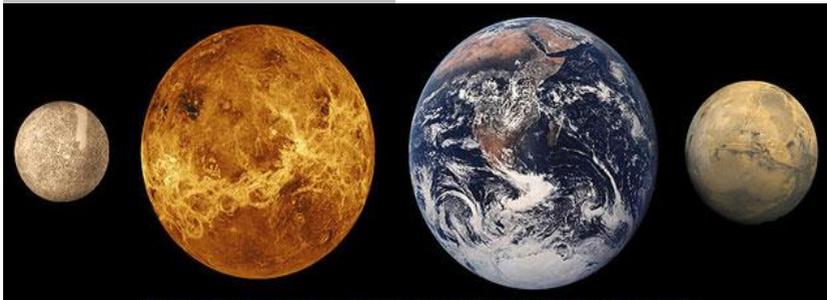
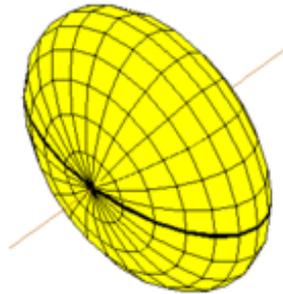
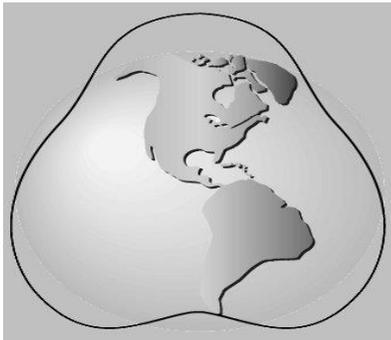
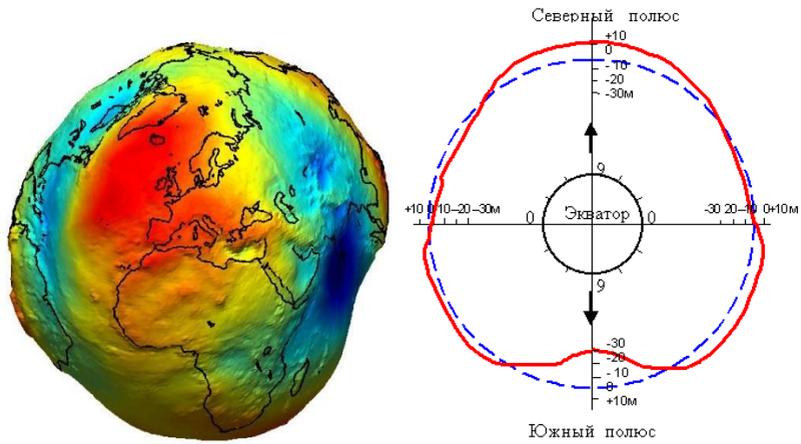


Рис. 3. Тень Земли при лунном затмении круглая, от шарообразной Земли. Корабль уходит за горизонт частями с исчезновением нижней части. Первый глобус, изготовленный Мартином Бехаймом (1492 г.). Маятник Фуко доказал осевое вращение Земли.



Рис. 4. Гелиоцентрическая модель мира по Копернику. Николай Коперник «остановил Солнце, раскрутил Землю».



**Сопоставление размеров планет земной группы (слева направо):
Меркурий, Венера, Земля, Марс**

Рис. 5. Фигура Земли – геоид, кардиоид, трехосный эллипсоид, сфероид. Сопоставление размеров планет (слева направо): Меркурий, Венера, Земля, Марс.

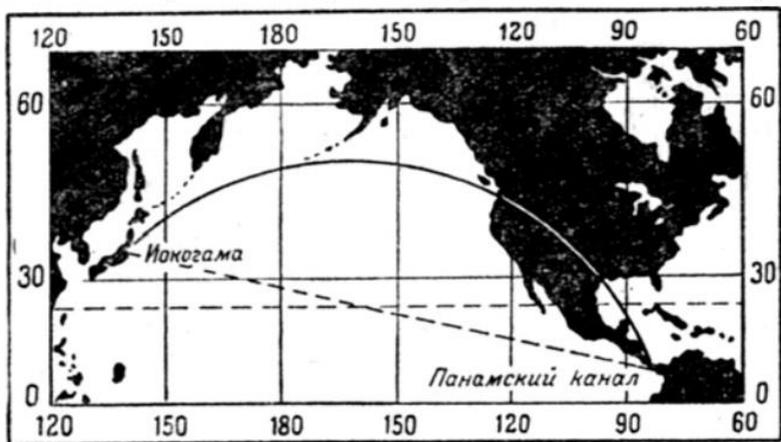


Рис. 2. Кажется невероятным, что криволинейный путь, соединяющий на морской карте Йокогаму с Панамским каналом, короче прямой линии, проведённой между теми же точками.

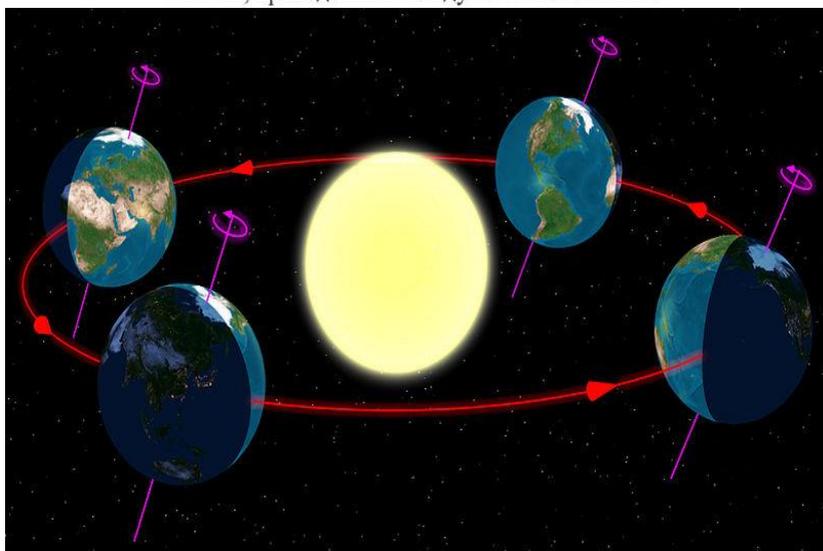


Рис. 6. Ортодромия (дуга на карте) короче прямой пунктирной линии между Японией и Панамой. Годовое движение Земли вокруг Солнца

Источники: фото и рисунки № 1-6 взяты из доступных интернетресурсов.

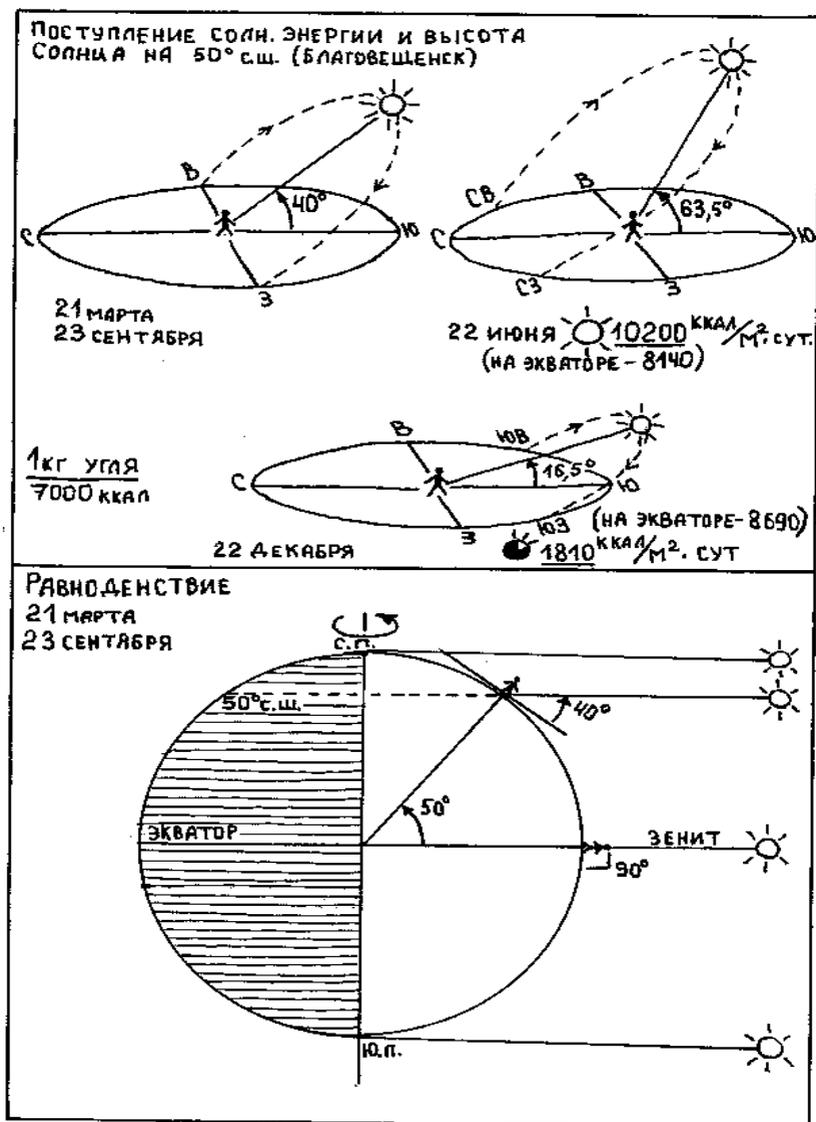


Рис. 7. Видимое движение Солнца над горизонтом на 50° с.ш. в дни равноденствий и солнцестояний. Освещение Земли в дни равноденствий - 21 марта и 23 сентября.

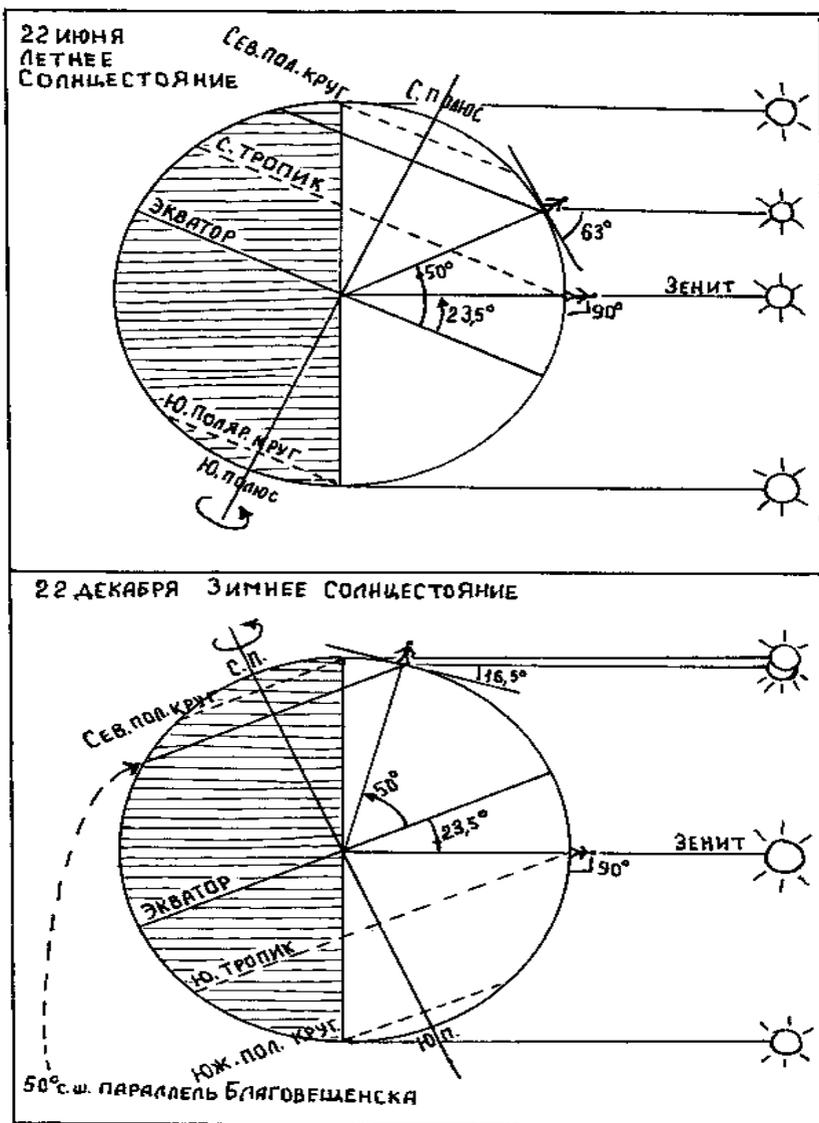


Рис. 8. Освещение Земли в дни солнцестояний – 22 июня, 22 декабря.

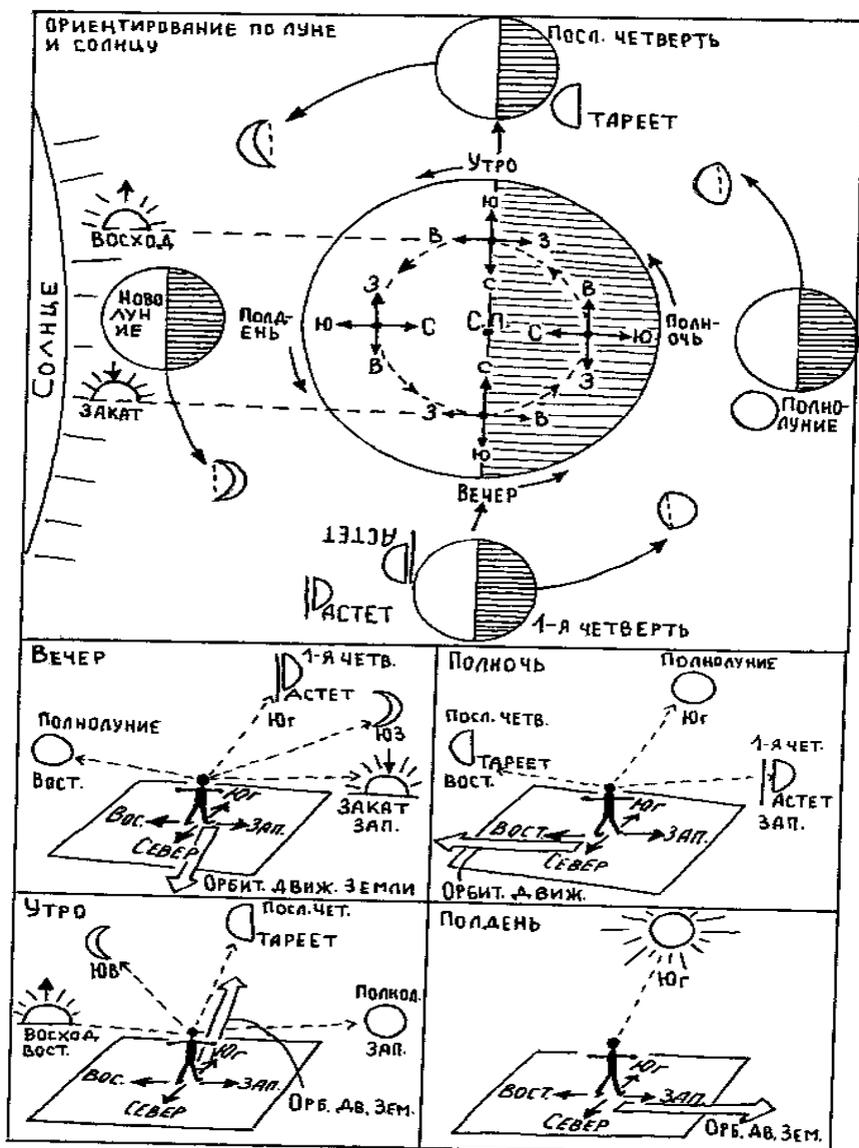


Рис. 9. Ориентирование по фазам Луны.

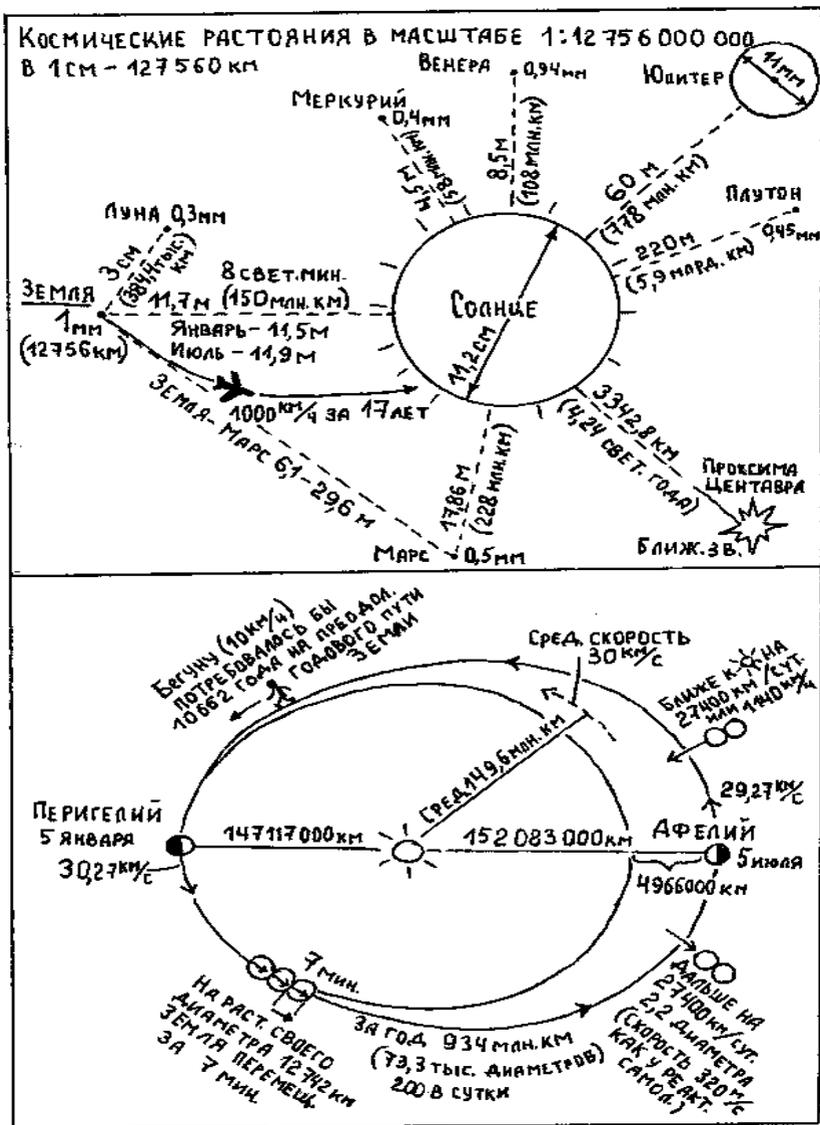


Рис. 10. Космические масштабы и расстояния.

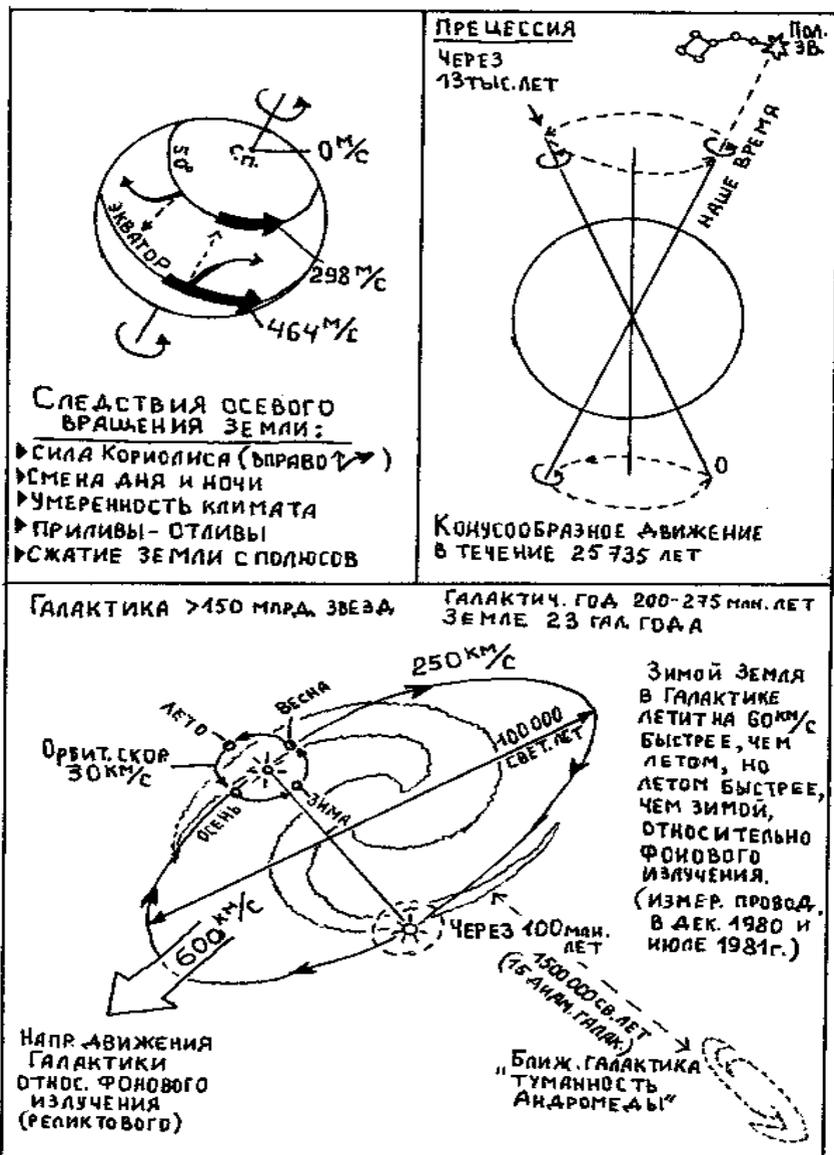


Рис. 11. Осевое движение Земли, прецессия, движение Земли в Галактике.

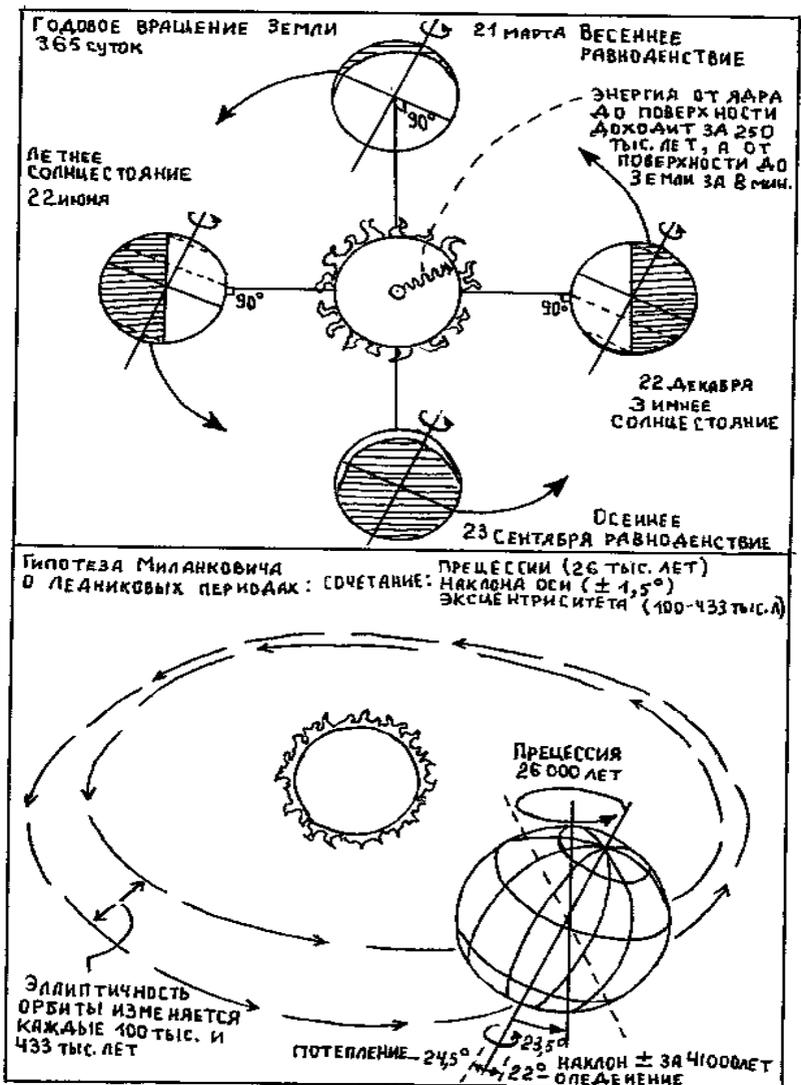


Рис. 12. Годовое движение Земли вокруг Солнца, изменение параметров земной орбиты – причина оледенений.

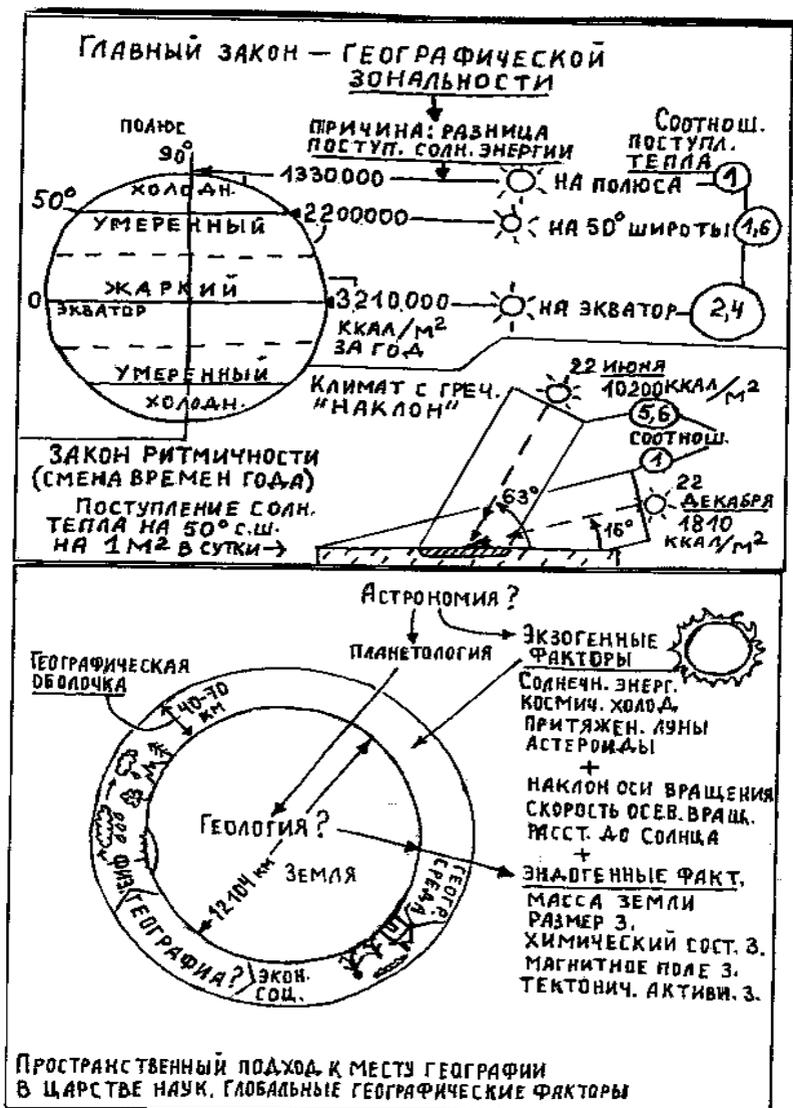


Рис. 13. Географическая зональность — следствие неравномерного распределения солнечного тепла по поверхности Земли. Место географии в системе астрономических наук.

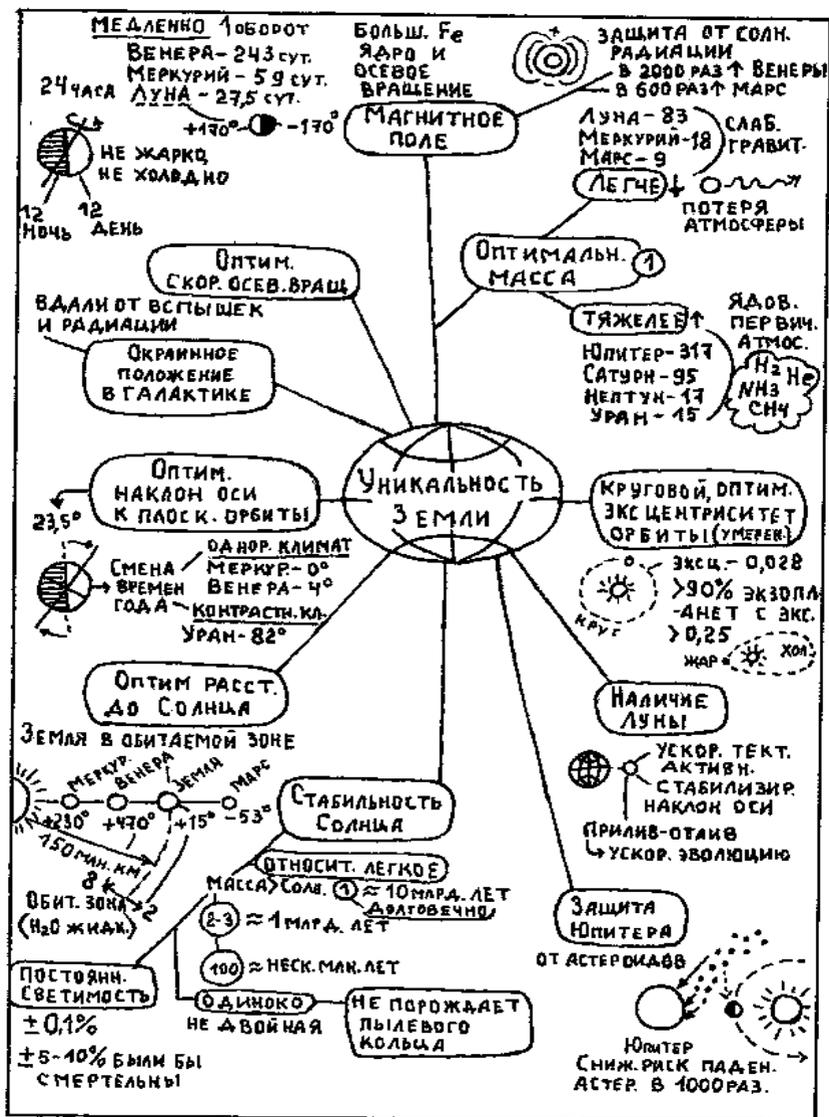
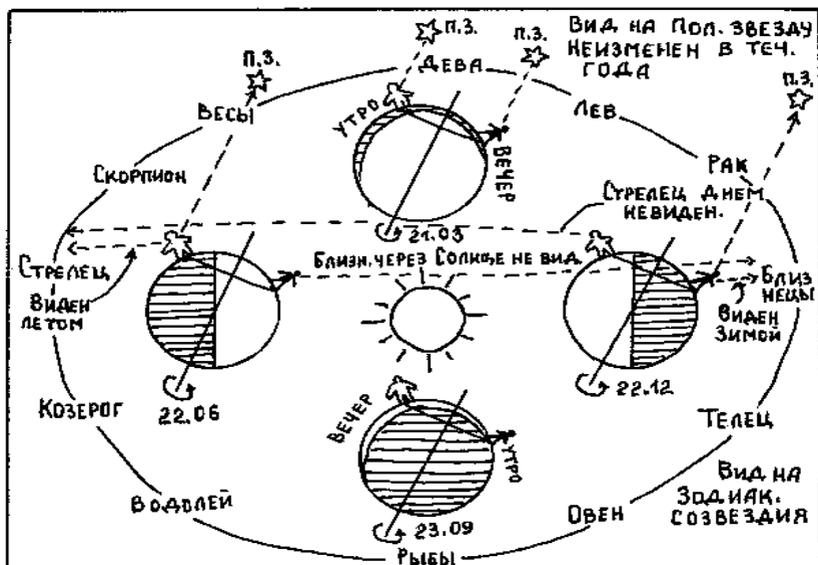
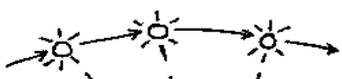


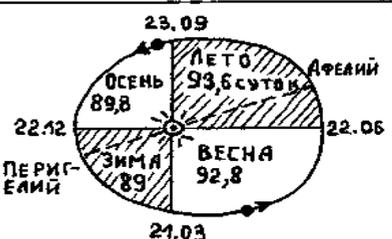
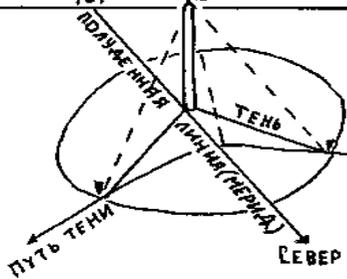
Рис. 14. Параметры астрономической уникальности Земли.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПОЛУДНЯ И ГЕОГ. МЕРИДИАНА



ЮГ



АСТРОНОМИЧ. СЕЗОНЫ

ЗВЕЗДА АСТРОЛОГОВ



Рис. 15. Изменение вида ночного неба в течение года, гномон, астрономические сезоны, звезда астрологов.

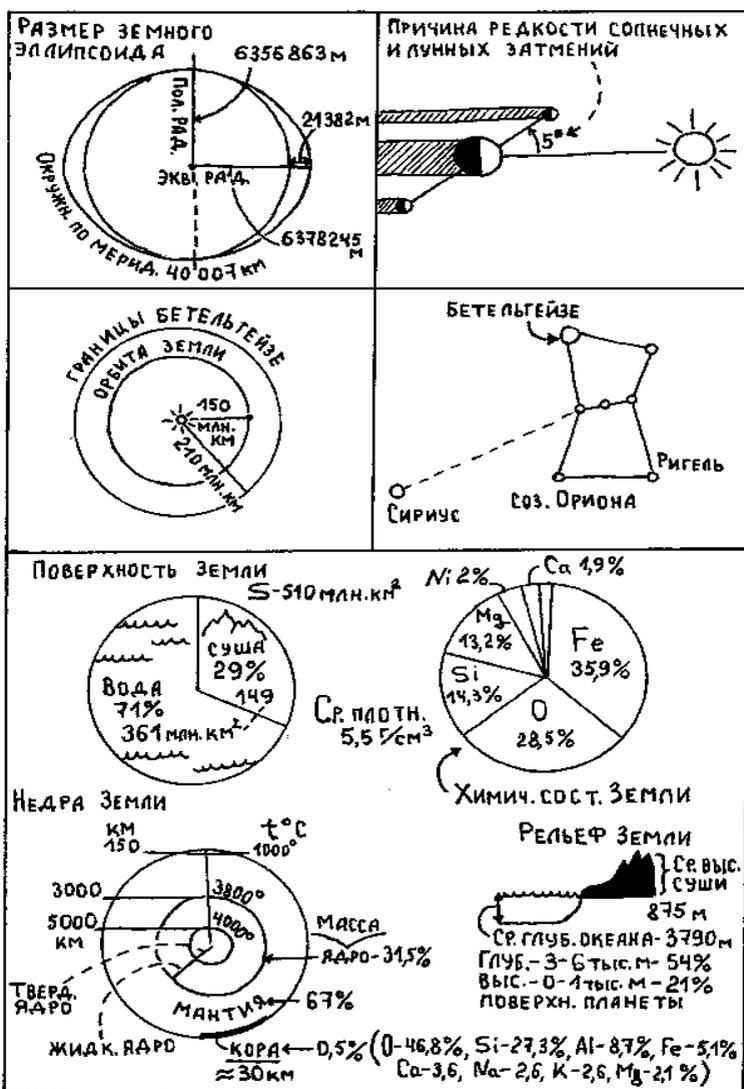


Рис. 16. Эллипсоид, особенность лунной орбиты, сравнение Земли и Солнца с Бетельгейзе, схемы, иллюстрирующие состав и строение Земли.

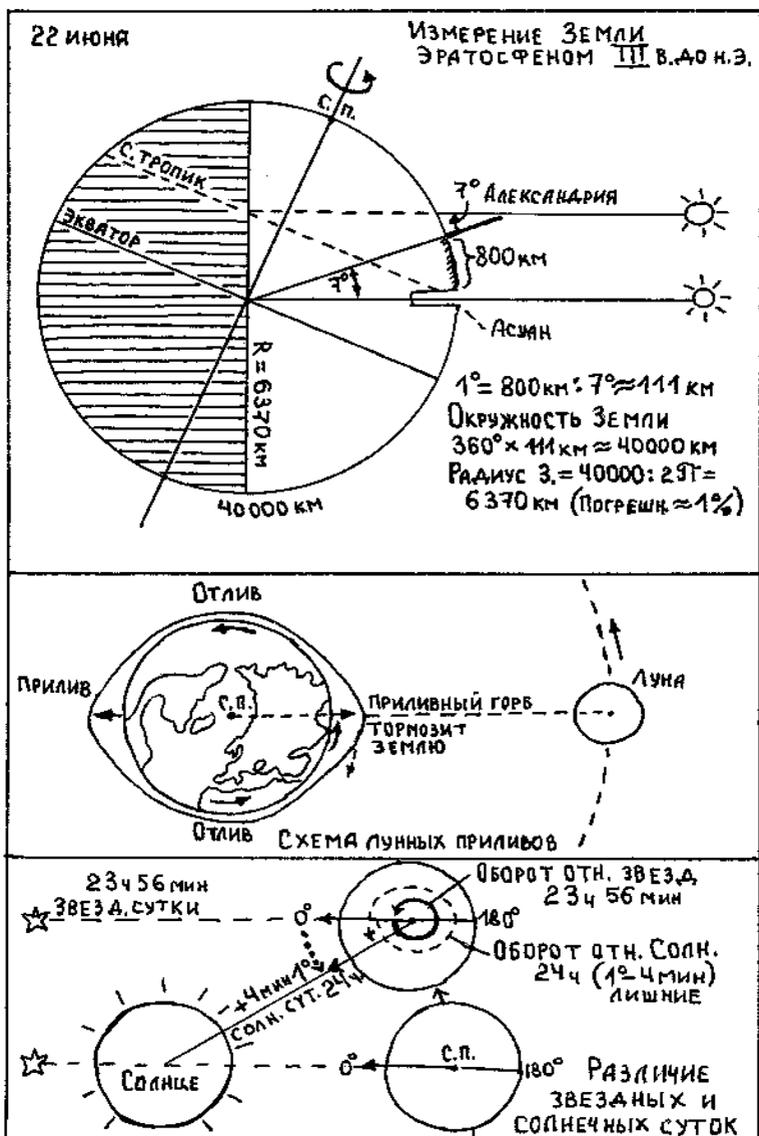


Рис. 17. Измерение Земли Эратосфеном, причины приливов-отливов, звездные и солнечные сутки.

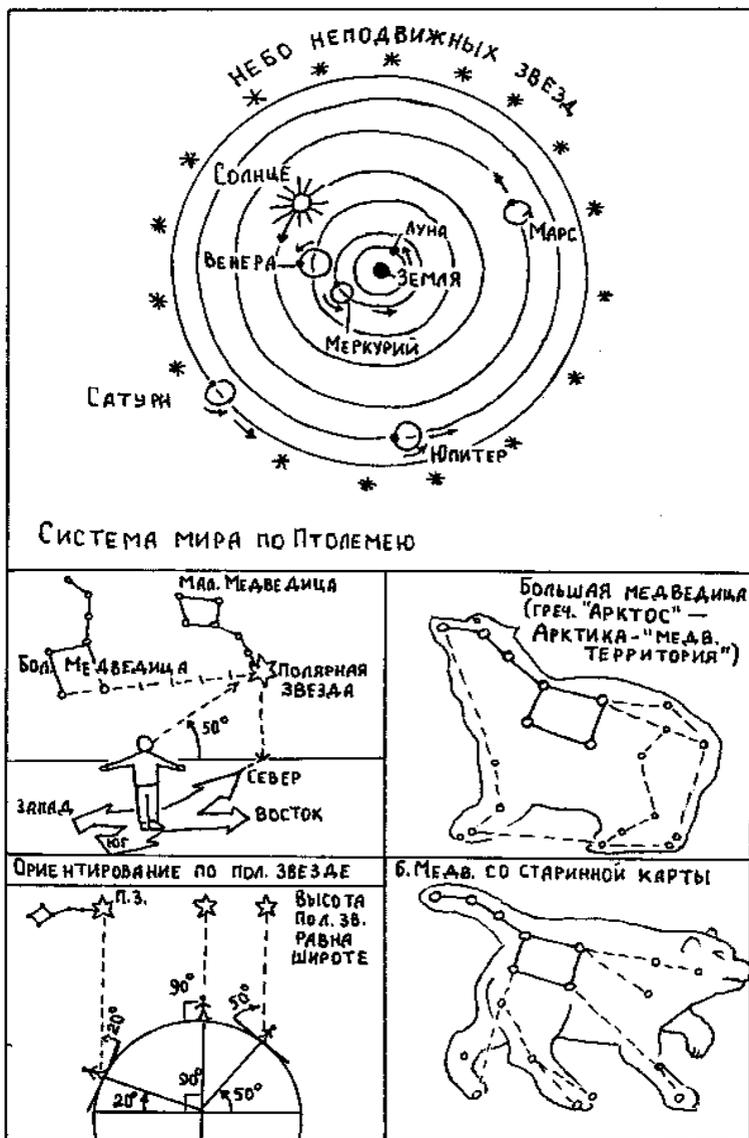


Рис. 18. Схема Солнечной системы по Птолемею, ориентирование по Полярной звезде и Большой медведице.

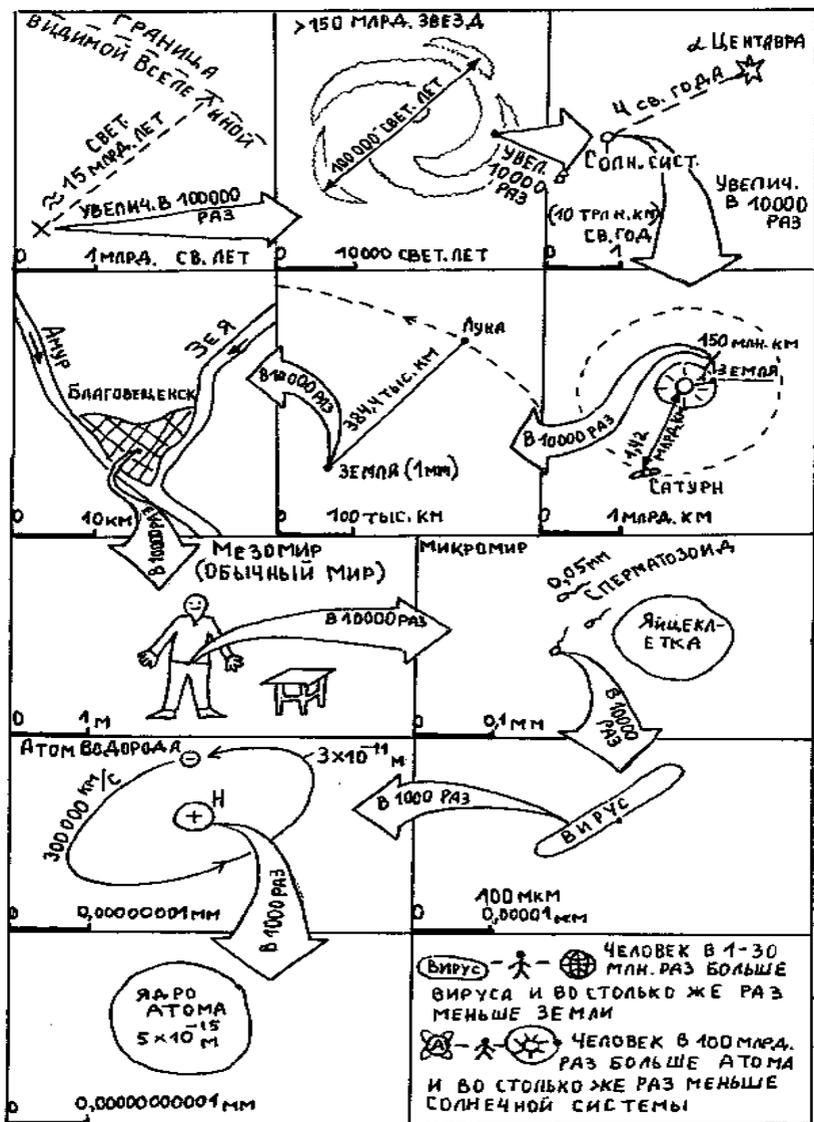


Рис. 19. Иерархия космических и микроскопических расстояний.

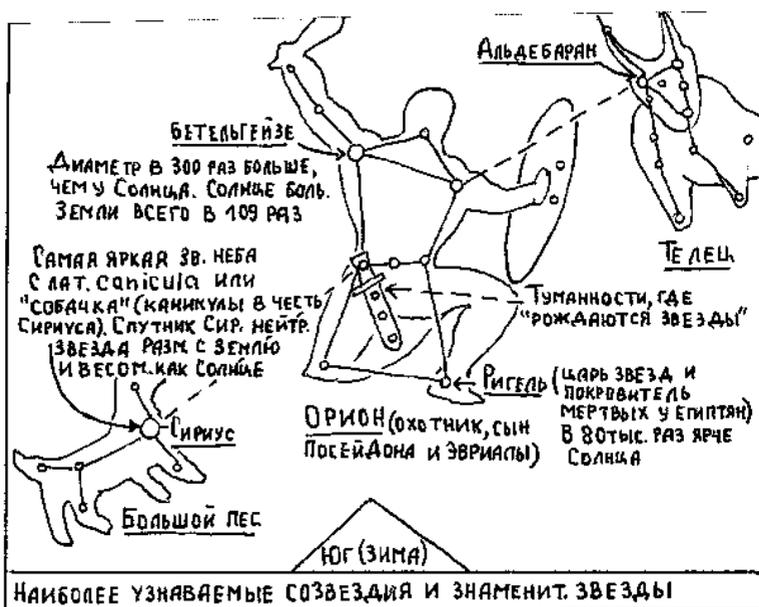


Рис. 20. Самые известные созвездия и звезды, их уникальность.

Виталий Анатольевич Ямковой,
кандидат географических наук,
доцент кафедры географии БГПУ

Астрономические и планетарные
аспекты географии
в вопросах и ответах:
учебное пособие для учащихся
общеобразовательных учреждений

Лицензия ЛР № 040326 от 19 декабря 1997 г.

План университета 2014 г.

Подписано в печать 2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л.

Уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство Благовещенского государственного
педагогического университета

Типография Благовещенского гос. пед. университета,
675000, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Ленина, 104