

Член-корреспондент НАН Украины **К. Ф. Тяпкин, О. К. Тяпкин,
М. М. Довбнич**

Роль атмосферы и гидросферы в сохранении равновесного состояния Земли (геоизостазии)

На підставі дотримання принципу геоізоастазії Землі, що обертається, розглянуто участь деформацій земної кори у пересуванні повітряних та водних мас в атмосфері та гідросфері. Підкреслено необхідність врахування цих природних явищ у гідрометеорології, а також при розв'язанні геоєкологічних задач.

В современной метеорологии атмосферу Земли рассматривают образно говоря, как своеобразную машину, преобразующую тепловую энергию Солнца в кинетическую энергию перемещения воздушных масс (ветров). При этом учитывают три главных фактора: 1) неравномерное распределение солнечной радиации на различных широтах; 2) суточное вращение Земли; 3) тепловые неоднородности земной поверхности в виде материков и океанов. Движущей силой перемещения воздушных масс в атмосфере является разность давлений, возникающая в результате изменения плотности этих масс при их нагревании или охлаждении. Основываясь на этих принципах и результатах натуральных наблюдений, метеорологи установили основные пространственно-временные закономерности перемещения воздушных масс в атмосфере Земли (муссоны, пассаты, циклоны и антициклоны). Эти закономерности общеизвестны [1, 2 и др.]. Касаясь перемещения водных масс в гидросфере Земли, отметим, что в мировом океане также имеют место специфические теплые и холодные течения, механизм возникновения которых во многом аналогичен механизму перемещения воздушных масс, в частности у них единый источник энергии перемещения — солнечная радиация.

Следует специально подчеркнуть, что при объяснении названных выше явлений в атмосфере и гидросфере, ротационный режим вращения Земли принимается неизменным. В настоящее время известны [3] значительные вариации ротационного режима Земли, приводящие к нарушению равновесного состояния вращающейся Земли (геоизостазии). Нарушение геоизостазии проявляется во всех геосферах, а, следовательно, может служить дополнительным источником энергии движения как воздушных, так и водных масс, накладывающихся на описанные выше перемещения, обусловленные преимущественно солнечной энергией и в определенной мере искажающих их. Эти искажения пока не учитываются в современной гидрометеорологии. Настоящее сообщение посвящено описанию сущности некоторых из этих искажений и обоснованию необходимости их учета в современной гидрометеорологии.

Геоизостазия. Понятие геоизостазии введено относительно недавно [4] для характеристики равновесного состояния вращающейся Земли. *Геоизостазии соответствует такое состояние вращающейся Земли, которое она приняла бы, если бы слагающий субстрат всех ее твердых оболочек стал жидким, не смешиваясь.* В этом случае нашу планету можно было бы охарактеризовать совокупностью уровней поверхностей, представляющих собой систему сфероидов всеуменьшающимися к центру коэффициентами сжатия, в формировании которых участвуют массы всей Земли, включая гидросферу и атмосферу.

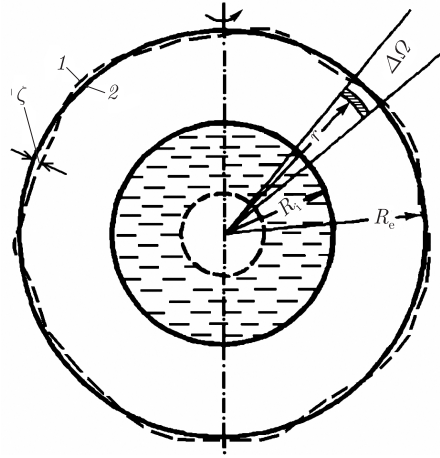


Рис. 1. К определению геоизостазии: 1 — геоид; 2 — сфероид

Геоизостазия определяется двумя условиями: в качестве первого условия принято равенство веса секторов Земли, вырезанных одинаковыми центральными телесными углами $\Delta\Omega$, а в качестве второго — равенство гравитационного потенциала в каждой точке Земли его теоретическому значению, соответствующему введенному понятию геоизостазии.

Первое условие количественно выражается интегральным соотношением (рис. 1)

$$\Delta\Omega \int_0^{\infty} \sigma(r)g(r)r^2 dr = \text{const}, \quad (1)$$

где $\sigma(r)$ — плотность пород внутри изучаемого сектора; $g(r)$ — ускорение силы тяжести в точках сектора на расстоянии r от центра Земли.

Выражение (1) можно представить в виде суммы трех интегралов:

$$I_1 + I_2 + I_3 = \text{const}, \quad (2)$$

где

$$I_1 = \Delta\Omega \int_0^{R_i} \sigma(r)g(r)r^2 dr; \quad I_2 = \Delta\Omega \int_{R_i}^{R_e} \sigma(r)g(r)r^2 dr; \quad I_3 = \Delta\Omega \int_{R_e}^{\infty} \sigma(r)g(r)r^2 dr;$$

R_i — внутренний радиус мантии Земли; R_e — ее внешний радиус.

Второе условие достижения геоизостазии удобнее определять не в каждой точке Земли, а на ее поверхности. В этом случае значения гравитационного потенциала можно заменить соответствующими им отметками геоида (R_T) и сфероида (R_C), а в качестве критерия оценки уравновешенности геоида можно принять разность этих отметок $\zeta = R_T - R_C$. В частности, в соответствие с определением геоизостазии геоид можно считать находящимся в состоянии равновесия при условии

$$R_T - R_C = 0. \quad (3)$$

В самом деле, если бы геоид стал жидким, т. е. ослабилась взаимосвязь между слагающими его твердыми частицами, то он принял бы фигуру равновесия — сфероид.

$$I'_3 = \Delta\Omega \int_{R_e-H}^{\infty} \sigma(r)g(r)r^2dr \rightarrow \text{const.} \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой сумму интеграла I_3 в равенстве (2) и часть интеграла I_2 в том же равенстве, соответствующую слою континентальной земной коры мощностью H , от поверхности Земли до глубины порядка нескольких сотен метров. При вертикальном перемещении блока на каждые 5,3 мм на его границе в атмосфере возникает разность давлений в один миллибар. Как следует из приведенных выше исходных данных о современных вертикальных движениях земной коры, их величины оказываются вполне достаточными для перемещения воздушных масс в направлении, перпендикулярном границе блока, в данном случае — внутрь блока. Так возникает очаг зарождения циклона в атмосфере. В ситуации, когда блок земной коры поднимается, аналогичным образом возникает очаг зарождения антициклона. Каково дальнейшее поведение возникших очагов циклонов и антициклонов, пока не изучено. Можно только предполагать, что возникшие образования накладываются на известные глобальные закономерности перемещения воздушных масс, источником энергии которых является солнечная радиация. Вместе с тем основные особенности описанных выше образований определенным образом “привязаны” к блокам земной коры, инициировавших их появление до тех пор, пока эти блоки вновь не достигнут состояния равновесия. В частности, такой возможности способствует изменение плотности пород внутри блока в результате изменения уровня грунтовых вод (рис. 2). Состояние геоизостазии (4) может быть достигнуто при условии динамического равновесия трех факторов: положения верхней кромки блока, уровня грунтовых вод в блоке и давления атмосферы у поверхности земной коры. Последнее утверждение свидетельствует о возможности использования явления геоизостазии для решения важной народно-хозяйственной проблемы — изучения закономерностей подтопления промышленных и сельскохозяйственных регионов.

Цунами. Роль вариаций интеграла I_2 , обусловленных нарушением геоизостазии, рассмотрим еще на одном примере — возникновении волн цунами и сопутствующих им явлений в атмосфере во время землетрясений в океанах (рис. 3).

С этой целью воспользуемся интегральным выражением, аналогичным выражению (4):

$$I'_3 = \Delta\Omega \int_{R_e-H}^{\infty} \sigma(r)g(r)r^2dr \rightarrow \text{const.} \quad (5)$$

Выражение (5) представляет собой сумму интеграла I_3 в равенстве (2) и часть интеграла I_2 в том же равенстве, соответствующую слою мощностью H , начиная от уровня ненарушенного дна океана до его поверхности (см. рис. 3). Пусть в результате землетрясения в океане возникнет вертикальное смещение дна на величину ΔH . Одновременно с этим над приподнятым блоком должно произойти смещение водной поверхности океана, амплитуда которого (A) будет по крайней мере соизмерима с величиной ΔH , но несколько увеличенной за счет кинетической энергии движения морского дна (сейсмического удара). Восстановление равновесного состояния после землетрясения регулируется выражением (5), которое представляет собой равенство веса вертикальных столбов с равновеликим основанием и высотой от поверхности ненарушенного дна океана до верхней границы атмосферы, по разные стороны от смещения. Поскольку в приподнятом блоке (см. рис. 3) в основании столба оказался слой пород морского дна мощностью ΔH и плотностью σ_d , то для сохранения веса рассматриваемых столбов по обе стороны от смещения необходимо понижение уровня водного

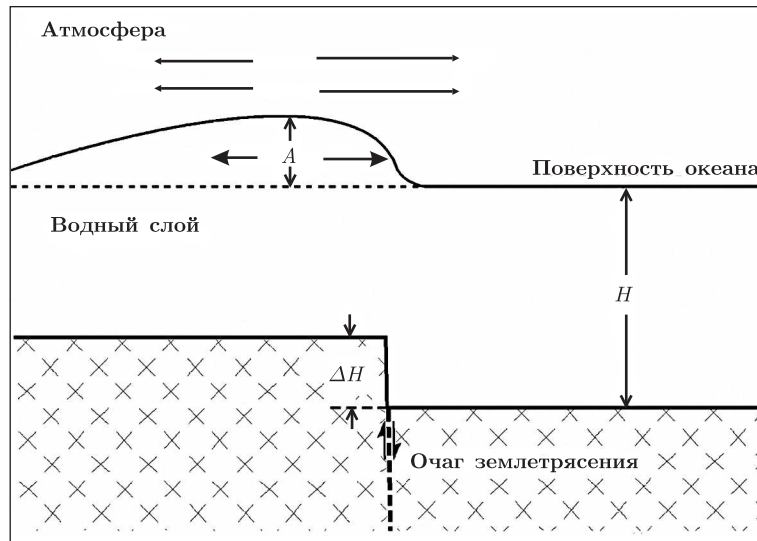


Рис. 3. Схема возникновения волн цунами и сопутствующих им ураганов

слоя в пределах приподнятого блока на величину $\Delta H(\sigma_d - 1)$, что и осуществляется путем волнообразного перемещения водных масс в направлении опущенного блока.

Атмосфера также участвует в сохранении геоизостазии. Это осуществляется путем направленного перемещения воздушных масс в наиболее плотной нижней части тропосферы. Естественно, энергетический вклад участия атмосферы в восстановление геоизостазии значительно меньше, по сравнению с водной оболочкой, тем не менее результатом этого участия является возникновение ураганных ветров, сопутствующих волнам цунами и в определенной мере усиливающих их, а в конечном итоге — приводящих к катастрофическим последствиям на ближайших от землетрясения побережьях. В качестве примера землетрясения, приведшего к описываемым последствиям, можно назвать землетрясение 2004 г. Вблизи западного побережья о. Суматра. Оно характеризовалось магнитудой $M > 9$ и вертикальным смещением блоков морского дна ΔH — более 10 м.

Таким образом, можно констатировать, что нарушения геоизостазии имели место в течение всей геологической истории развития Земли и являлись основой ее тектонических перестроек. Деформации земной коры, наблюдаемые в настоящее время, несмотря на их меньшую энергоемкость, оказывают заметное влияние на перемещение воздушных и водных масс в атмосфере и гидросфере. Следовательно, их нельзя игнорировать в гидрометеорологии. Названные выше явления имеют существенное значение при решении геоэкологических задач [12].

1. Авержиев М. С. Метеорология. — Москва: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1951. — 284 с.
2. Петтерсен С. Введение в метеорологию. — Москва; Ленинград: Гостехиздат, 1947. — 268 с.
3. Тяжкин К. Ф. Физика Земли. — Киев: Вища шк., 1998. — 312 с.
4. Тяжкин К. Ф. Новая модель изостазии Земли // Тез. докл. XXVIII сес. Междунар. геол. конгр. — Москва, 1984. — С. 438–439.
5. Довбнич М. М. Нарушение геоизостазии и напряженное состояние тектоносферы // Геофиз. журн. — 2008. — **30**, № 2. — С. 52–59.
6. Тяжкин К. Ф., Довбнич М. М. О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруговязкой Земли // Там же. — 2002. — **24**, № 2. — С. 52–59.
7. Тяжкин К. Ф. О природе современных движений земной коры // Изв. вузов, 1984. — № 6. — С. 3–14.

8. Мещеряков Ю. А. Изучение современных движений земной коры и проблема прогноза землетрясений // Современные движения земной коры. – Москва: Комиссия СДЗК, 1968. – № 3. – С. 44–62.
9. Тяпкин К. Ф., Бондарук А. Г. О годичной компоненте современных вертикальных движений земной коры // Геофиз. журн. – 1983. – 5, № 1. – С. 23–31.
10. Выскочил П. Некоторые результаты исследований современных движений земной коры на полигонах ЧССР // Современные движения земной коры. – Москва: Комиссия СДЗК, 1973. – № 5. – С. 123–130.
11. Верёда В. С. О характере современных вертикальных тектонических движений в Донецком каменноугольном бассейне // Докл. АН СССР. – 1974. – 218, № 3. – С. 651–652.
12. Тяпкин О. К. Геофизические методы решения геоэкологических задач. – Днепропетровск: Изд-во Монолит, 2006. – 296 с.

Національний горний університет, Дніпропетровськ

Поступило в редакцію 21.08.2009

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **К. Ф. Тяпкин, О. К. Тяпкин, М. М. Dovbnich**

Role of the atmosphere and the hydrosphere in preservation of equilibrium status of the Earth (geostasy)

On the basis of the principle of geostasy of the rotating Earth, the participation of Earth crust deformations in moving the air and water masses in the atmosphere and the hydrosphere is considered. The necessity to consider these natural phenomena in hydrometeorology and the solution of geocological tasks is underlined.