

Упомянутые выше исследования позволяют сделать следующие выводы. Изученный участок Северо-Западного Кавказа, который ограничен с севера и юга широтами 44.6869°N и 44.6617°N, представляет собой юго-западное крыло дугообразной в плане складки верхнемеловых осадочных пород. Складка ориентирована своей выпуклостью на юго-запад, а генерализованное дугообразное простиранье ее крыла осложнено высокочастотной составляющей. На обнажениях участка наиболее четко выражены 3 системы трещин, ортогональные слоистости пород: продольная по отношению к оси складки система L , и две системы C' и C'' , чаще образующие между собой острый угол $\angle C'C'' \approx 30-45^\circ$. Как в среднем ОРТ, так и во многих локальных ОРТ, ориентации систем L , C' , C'' взаимосвязаны, а именно: система L делит пополам тупой угол между системами C' и C'' . Эта конфигурация систем трещин взаимосвязана с простираньем складки: система L параллельна, а биссектриса острого угла $\angle C'C''$ – перпендикулярна простиранью складки. Отмеченная закономерность проявляется как в среднем для изученного участка складки, так и для многих ТН.

На основе выявленных закономерностей можно предположить следующую схему эволюции складки и образования систем трещин. Складка зародилась как прямолинейная, причем перпендикулярно действующему в тот момент максимальному горизонтальному сжимающему напряжению T_{max} (напряжения сжатия считаем положительными). В дальнейшем, при росте складки и, соответственно, при увеличении по абсолютной величине ее кривизны в вертикальном сечении главное сжимающее напряжение T_d , действующее по падению складки и равное в начальный момент величине T_{max} , начало уменьшаться, пока не сравнялось с горизонтальным напряжением T_s , действующим по простиранью складки. Напряжение T_s является сжимающим в силу стеснения деформаций вдоль оси складки. При дальнейшем росте складки разность $T_s - T_d$ увеличивалась, что могло привести к латеральному изгибу складки в юго-западном направлении. Еще позже возникла вторая форма потери устойчивости, выразившаяся в появлении высокочастотной поверхностной моды изгиба на крыле складки. Системы трещин L , C' , C'' возникли заведомо до того, как проявились отмеченные формы потери устойчивости, т.к., будучи «вмороженными» в материал, системы следили за кинематикой перемещений, сопровождавших процессы неустойчивости. Система L возникла не ранее систем C' и C'' . Вопрос о том, не сформировались ли обсуждаемые системы трещин до начала складкообразования, остается открытым.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и фундаментальной программы № 6 ОНЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bergbauer S., Pollard D.D. A new conceptual fold-fracture model including prefolding joints, based on the Emigrant Gap anticline, Wyoming // GSA Bulletin. 2004. V. 116. P. 294-307.
2. Lisle R.J. Detection of zones of abnormal strains in structures using Gaussian curvature analysis // AAPG Bulletin. 1994. V. 78. P. 1811-1819.
3. Fischer M.P., Wilkerson M.S. Predicting the orientation of joints from fold shape: results of pseudo-three-dimensional modeling and curvature analysis // Geology. 2000. V. 28. P. 15-18.
4. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра. 1968. 483 с.
5. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Научный мир. 2001. 606 с.
6. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Делимость земной коры и палеонапряжения в сейсмоактивных и нефтегазоносных регионах Земли. М.: ОИФЗ РАН. 1997. 320 с.
7. Belousov T.P., Mukhamediev Sh.A., Kurtasov S.F. Joint orientations from Paleozoic sedimentary rocks in the Kyzyl Kum region, Uzbekistan, Central Asia // Russian Journal of Earth Sciences. 2001. V. 3. № 5. P. 333-351. Available at: <http://rjes.wdcb.ru/>.

СЕЗОННЫЕ И ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СУТОК И ВАРИАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Благовещенская Е.Э.

¹ СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, jlyskova@mail.ru

Появление в середине прошлого века сначала кварцевых, а затем еще более точных атомных часов позволило астрономам уверенно проследивать неравномерности вращения Земли не только в вековом масштабе времени, но и в пределах года. Многолетние уже спутниковые данные о фактическом гравитационном поле Земли показывают, что коэффициент J_2 , описывающий экваториальное вздутие (или, что, по сути, тоже самое, осевое полярное сжатие), имеет устойчивые сезонные вариации. Эти вариации чаще всего предположительно объясняют сезонным перераспределением воздушных масс. Однако, учитывая, что экваториальное вздутие в геологическом масштабе времени определяется скоростью вращения Земли ω и упруго-пластическими деформациями ее твердых оболочек

чек, можно ожидать, что в ряду явлений, связанных с вариациями J_2 и W , землетрясения окажутся не на последнем месте, и могут играть роль, если не инициатора, то участника и летописца.

В данной работе на базе многолетних каталогов автор показывает, что сама по себе очень небольшая вероятность возникновения землетрясения в определенном месте и в определенные моменты времени, на большом массиве событий обнаруживает значимую корреляционную взаимосвязь как с вековыми, так и с сезонными изменениями W или J_2 . При этом знак коэффициента корреляции бывает как положительным, так и отрицательным, т.е. вариации dW или dJ_2 могут, как спровоцировать землетрясение, так и временно притормозить (отсрочить) его, в зависимости от типа тектонических условий (напряжений литосферы) в данном регионе.

При выделении зон со сходными тектоническими условиями использовалась карта современных напряжений в литосфере [1], созданная на базе оценок тензора напряжений в шахтах и скважинах, а также тензора сейсмического момента землетрясений. На этой карте выделяются несколько зон, находящихся в режиме преобладающего растяжения на следующих территориях: (1) Штаты Невада и Аризона, и Мексика в Северной Америке; (2) Турция к западу от 35-го меридиана, Греция и Апеннины; (3) ЮВ часть Африки; (4) районы около Байкальского рифта; (5) к СВ от Гималайского хребта; (6) небольшая зона в высоких Андах. Режим преобладающего сжатия можно отметить на следующих территориях: (7) система надвиговых хребтов Загрос в Иране; (8) Алеуты и Аляска между 50 и 65 градусами северной широты. Независимо от упомянутой карты была рассмотрена зона надвига вдоль западной границы полуострова Индокитай и южной границы Индонезии, а также продолжение этого тектонического пояса через Новую Зеландию до островов Фиджи, где он, по-видимому, полностью теряет надвиговые черты.

Вековые вариации сейсмической активности определялись в данной работе как изменение в регионе числа событий, из указанных с 1700 г. по 1994 г. в каталоге сильных землетрясений NOAA USGS, за определенный промежуток времени iD ($iD = 7, 13, 19$ или 37 лет). Сезонные вариации сейсмичности определялись по гистограммам распределения землетрясений по месяцам в соответствующем регионе. С таким же месячным шагом были вычислены сезонные вариации dJ_2 на основе 9-летнего (1983-1991 гг.) ряда J_2 из работы [2] и сезонные вариации dW на основе 9-летнего ряда (1972-1980 гг.) изменения длительности суток по данным обсерватории в Харькове [3]. Вековые вариации скорости вращения Земли W взяты из [4].

Статистическое сравнение рядов (сезонное распределение можно считать вектором из 12 элементов) в разных регионах или в связи с иными явлениями проводилось по величине (точнее – знаку) коэффициента ковариации соответствующих пар временных рядов на моменте нулевого сдвига по времени. При определении уровня достоверности наличия корреляции (либо положительной, либо отрицательной) по критерию Стьюдента учитывалась длина временного ряда и величина параметра сглаживания, связанная с величиной iD .

Сравнение сезонных вариаций dJ_2 , полученных путем осреднения спутниковых данных, с сезонными вариациями угловой скорости вращения Земли по астрономическим данным dW , вычислявшихся как производная по времени от среднего сезонного изменения длины суток, показало, что они имеют коэффициент корреляции 0.74. Наибольшее расхождение между ними существует в зимние месяцы за счет того, что dJ_2 имеет там локальный (второй) максимум. Однако необходимо заметить, что dJ_2 и dW , определены были по разным годам, поэтому не исключено, имеет место наложение какого-нибудь долгопериодного фактора.

Сравнение сезонных функций dJ_2 и dW с сезонным распределением землетрясений dEQ в упомянутых выше тектонических зонах показало, что коэффициенты корреляции между dEQ и dJ_2 по абсолютной величине, как правило, больше, чем между dEQ и dW . То есть, сезонные вариации сейсмичности лучше согласуются непосредственно с изменением формы Земли, чем с изменением скорости вращения Земли. В подавляющем большинстве случаев величина коэффициента корреляции позволяет с достаточно высоким доверительным уровнем (более 85%) подтвердить, что в зонах преимущественного растяжения, по крайней мере, в низких и средних широтах, наблюдается положительный коэффициент корреляции (например, для укрупненной зоны растяжения, объединяющей выделенные выше зоны (2) и (3), он равен 0,86). В зонах надвигового типа, как правило, наблюдается отрицательный коэффициент. Особенно убедительным оказывается надвиговая зона (8), для которой коэффициент корреляции оказался около -0.65, что с вероятностью 98% позволяет утверждать, что этом районе с увеличением dJ_2 снижается вероятность землетрясения, а с уменьшением dJ_2 , напротив, возрастает. Но на вопрос «насколько», приводимые здесь параметры не отвечают. Следует также сказать, что на Мировой карте, с помощью которой выбирались упомянутые зоны, западное обрамление Тихого Океана имело очень мало данных, а геодинамика там сложнейшая, поэтому при работе с этим районом придется довольствоваться более низким доверительным уровнем.

Коэффициент корреляции долговременных рядов изменения сейсмичности попарно сравниваемых регионов бывал как положительным, так и отрицательным, а величина его во многих случаях была достаточной для того, чтобы можно было говорить о наличии значимой положительной или отрицательной взаимосвязи (корреляции), правда, на значительно более низком уровне значимости по сравнению с сезонными вариациями. В частности, долговременные ряды, вычисленные с интервалом сглаживания от 7 до 19 лет для участков СЗ части Тихоокеанского сейсмического пояса, имеют значимую положительную корреляцию, а ряды, полученные с интервалом сглаживания 37 лет или более, обнаруживают связь с вековыми вариациями скорости изменения длины суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zoback M.L., Burke K. Lithospheric stress patterns: a global view // EOS, Trans. AGU. 1993. V. 74. No 52. P. 609.
2. Nerem R.S. Progress made in studying variations of Earth's Gravity // EOS, Trans. AGU. 1994. V. 75. No 7. P. 76.
3. В.И.Туренко. Возможности изучения вращения Земли по материалам наблюдений всемирного времени классическими методами и некоторая геофизическая интерпретация неравномерности этого вращения. Сб. Вращение Земли и геодинамика, Изд-во «Ташкент»: Фан, 1983. С. 33-42.
4. Сидоренков Н.С. Неравномерность вращения Земли и движение полюсов // Природа. 1982. № 4. С. 82-91.

СВЯЗЬ АНОМАЛИЙ ГЕЛИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ ЗОНАМИ

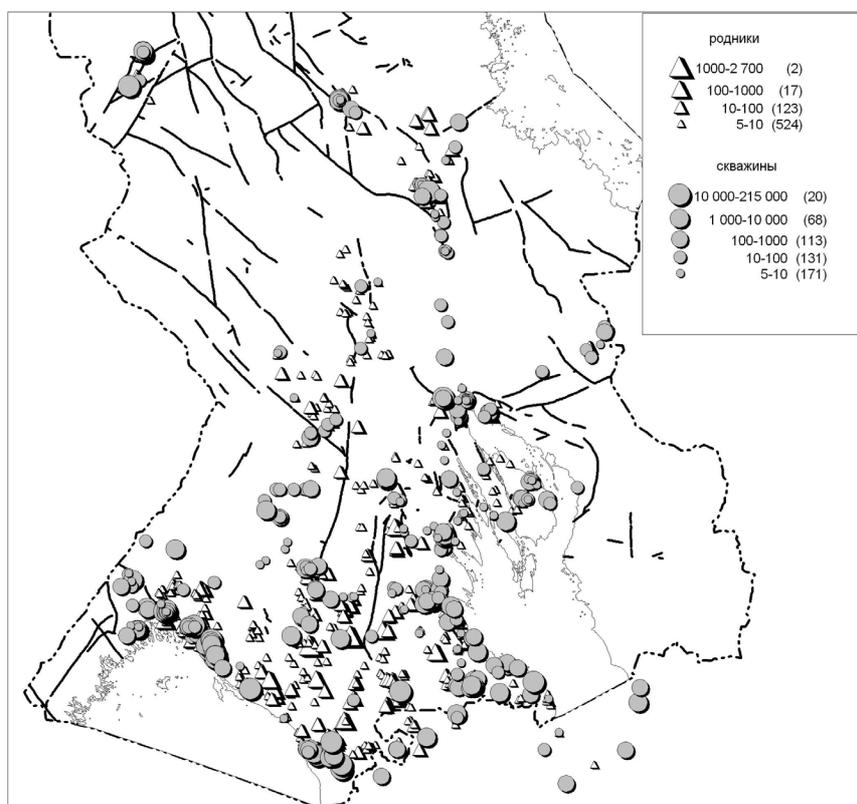
Богачев М.А., Бородулина Г.С.

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, borodulina@nwpi.krc.karelia.ru

В большом интервале температур и давлений гелий остается инертным газом, активно растворяющимся во всех фазах вмещающей геологической среды. Во всех случаях гелий растворен истинно, т.е. собственного объема не занимает. Основной причиной, обуславливающей формирование гелиевых аномалий в верхних слоях земной коры служит конвективная миграция гелия с глубины, обычно не в свободной форме, а вместе с флюидами-носителями, преимущественно с подземными водами [4]. Природа гелиевых аномалий во всех случаях – это активная разгрузка вод глубокой циркуляции по зонам повышенной проницаемости тектонической природы [3, 4, 6, 7].

Среди растворенных в подземной воде газов гелий наиболее хорошо изучен, благодаря высокопроизводительным и экспрессным возможностям газового анализатора ИНГЕМ-1 [1, 3, 5]. Всего выполнено 1360 определений гелия в подземных водах региона, опробовано 660 родников, 510 скважин.

В подземных водах Карелии гелий имеет самый большой среди растворенных газов диапазон содержаний: от равновесных с атмосферой $5 \cdot 10^{-5}$ мл/л до 2,15 мл/л (рис.). Формирование в приповерхностной зоне дифференцированного гелиевого поля обусловлены гидрогеодинамическими и геотектоническими факторами. Первый обеспечивает энергетику процесса разгрузки потока, а второй контролирует размещение проницаемых зон, по которым и возможна миграция в различной степени глубинных растворов.



Распределение концентраций гелия ($n \cdot 10^{-5}$ мл/л) в подземных водах Карелии