

УДК 550.343.550.385

ГЕОФИЗИКА

Л. С. Безуглая, А. Н. Козлов, Г. М. Оганесян, Ю. П. Сковородкин

Локальные геомагнитные вариации фильтрационной природы в зонах дилатансии

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. А. Габриеляном 10/IX 1987)

Результаты многолетних магнитометрических наблюдений в сейсмоактивных районах показывают, что локальные геомагнитные вариации, связанные с землетрясениями, могут иметь не только пьезомагнитную, но и токовую природу. Благоприятные условия для образования токовых систем создают процессы, происходящие в период дилатансии. Согласно дилатантно-диффузионной модели подготовки землетрясения предполагается возникновение фильтрации воды в зоне дилатансии. Существование связи между фильтрационными процессами и вариациями локального геомагнитного поля впервые показано на основе результатов инструментальных наблюдений в районе Мацнширского роя землетрясений 1966 г. (1). Предполагалось, что причиной этой связи является электрокинетический эффект—возникновение электрического тока при фильтрации флюида в поровой среде (зона трещинообразования) под действием градиента давления. Для расчета ожидаемой величины вариаций магнитного поля, вызванных фильтрационными процессами, в частности при явлении дилатансии в зонах подготовки землетрясений, необходимо знание механических и электромагнитных свойств фильтрующих и вмещающих пород. По оценкам, в очаговых зонах отдельных землетрясений ($M=6$) амплитуда аномальных вариаций может составлять от единиц до нескольких десятков нТл (2).

Вопрос о природе (физическом механизме) локальных геомагнитных вариаций имеет принципиальное значение как для понимания механизмов подготовки тектонических землетрясений, так и для многих проблем геодинамики.

Возникает задача выявления вариаций фильтрационной природы в зонах распространения флюидопроницаемых пород. С этой целью были проведены лабораторные исследования на образцах типичных пород из сейсмоактивных зон Армении, где неоднократно наблюдались значимые локальные геомагнитные вариации, предположительно связанные с сейсмотектоническими процессами (3). Через образцы с эффективной пористостью от 3 до 25% производилась фильтрация дистиллированной и слабо минерализованной воды, в процессе которой измерялись электрические и магнитные поля. В результате измерены значения потенциала течения, электрокинетического тока и изменения

магнитной индукции образцов. Впервые обнаружено изменение намагниченности под механическим воздействием потока, названное авторами «эффектом смещения» (4).

Оказалось, что необходимым условием для появления электрокинетического тока в образце, а следовательно, и изменения его магнитной индукции является наличие цепи замыкания. Как следует из экспериментальных данных, для получения максимума изменения магнитной индукции достаточно, чтобы электросопротивление цепи замыкания было по крайней мере в 5 раз меньше, чем внутреннее динамическое сопротивление образца в процессе фильтрации: $R_{\text{в}} = \frac{\Delta E_{\text{к}}}{I_{\text{к}}}$, где

$R_{\text{в}}$ — динамическое сопротивление, $\Delta E_{\text{к}}$ — изменение э. д. с. при фильтрации жидкости, $I_{\text{к}}$ — ток замыкания (4).

Таким образом, в природных условиях установившийся ток и, следовательно, локальная геомагнитная вариация могут возникнуть при условии существования в геоэлектрическом разрезе слоев, обладающих более высокой проводимостью, чем фильтрующее тело. В то же время «эффект смещения» реализуется независимо от геоэлектрических условий.

На основании проведенных экспериментов оценим вклад движения жидкой фазы в общее изменение локального геомагнитного поля, в предположении перемещения ее в горных породах при подготовке землетрясения. Будем исходить из того, что на территории Армении широко развиты базальты и туфы и что гипоцентры землетрясений расположены в верхних слоях земной коры (5).

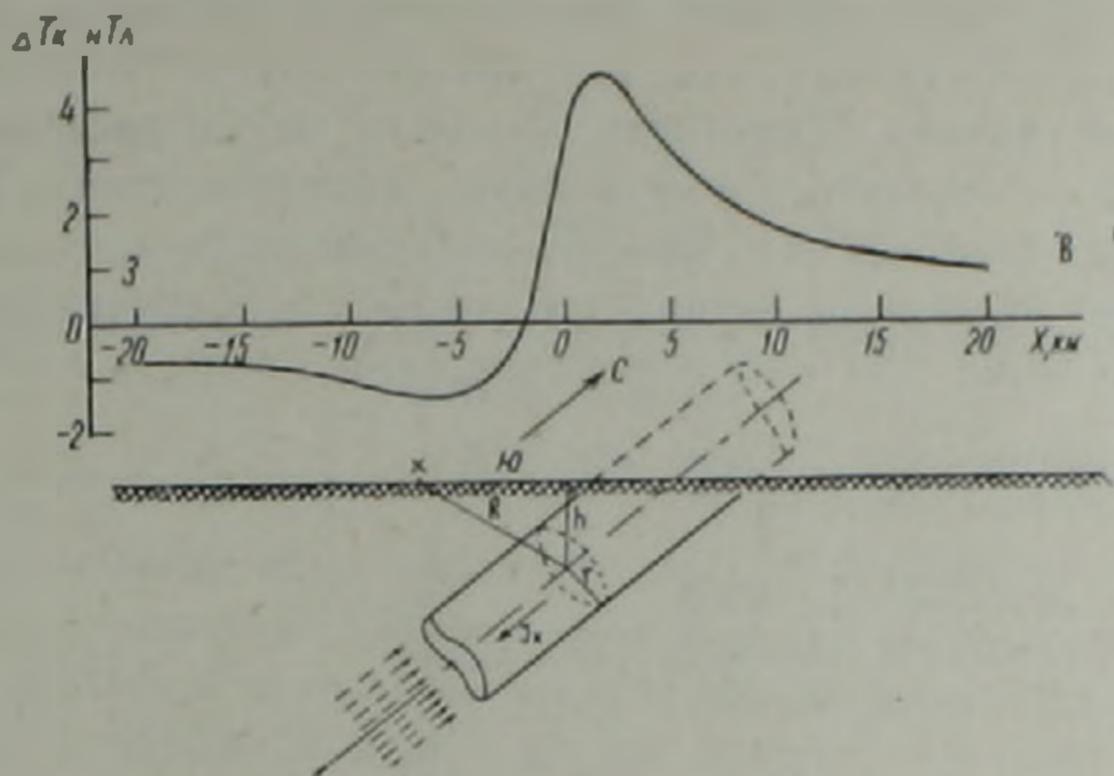
Рассмотрим аномалию магнитного поля на поверхности Земли, вызванную протеканием электрокинетического тока внутри водопроницаемого объема в виде протяженного горизонтального цилиндра радиусом $r = 2$ км, находящегося в однородной слабопроницаемой среде на глубине $h = 3$ км. Для туфов при скорости протекания воды $V_{\text{ф}} = 8 - 10$ см/сут. плотность электрокинетического тока составит около $j_{\text{к}} = 7 \times 10^{-6}$ А/м². При наличии на глубине токопроводящих слоев, влиянием которых на изменение магнитной индукции можно пренебречь, максимальный ток через сечение цилиндра достигает $I_{\text{к}} = 50$ А. В этом случае изменение модуля полного вектора магнитного поля на дневной поверхности определяется как $\Delta T_{\text{к}} = \Delta B_{\text{кz}} \sin J_0 + \Delta B_{\text{кx}} \cos J_0 \cos \delta$, где $\Delta B_{\text{кz}} = \frac{\mu_0 I_{\text{к}}}{4\pi} \cdot \frac{2I_{\text{к}}}{R} \cdot \frac{x}{R}$ и $\Delta B_{\text{кx}} = \frac{\mu_0 I_{\text{к}}}{4\pi} \cdot \frac{2I_{\text{к}}}{R} \cdot \frac{h}{R}$ — соответственно верти-

кальная и горизонтальная составляющие магнитной индукции вследствие протекания электрокинетического тока $I_{\text{к}}$; R — расстояние от оси цилиндра до точки наблюдения; h — глубина залегания оси цилиндра; x — расстояние от проекции оси цилиндра на дневной поверхности до точки наблюдения; J_0 и δ — соответственно наклонение и склонение вектора напряженности геомагнитного поля для территории Армянской ССР; μ_0 — магнитная постоянная; μ — средняя магнитная проницаемость вмещающих пород, $\mu \approx 1$.

На рисунке приведена кривая $\Delta T_{\text{к}}$ по субширотному профилю при простирании оси цилиндра в плоскости магнитного меридиана.

Как видно из графика, максимальное изменение ΔT_z составит 4,6 нТл, а на удалении примерно 18 км — около 1 нТл.

Далее рассмотрим изменение локального геомагнитного поля в случае «эффекта смещения». Имеются основания считать, что причи-



Расчетная кривая изменения модуля ΔT_z над горизонтальным фильтрующим цилиндром. h — глубина залегания центра цилиндра; r — радиус цилиндра; R — расстояние от центра цилиндра до точки наблюдения; \rightarrow — направление объемного электрокинетического тока, \dashrightarrow — направление фильтрации

ной его является изменение ориентации мелких ферромагнитных частиц, находящихся в порах и трещинах или деформация скелета горных пород под влиянием напора флюида, и что главный вклад в «эффект смещения» вносит остаточная намагниченность частиц J_n (индуктивной намагниченностью можно пренебречь). По экспериментальным данным изменение магнитной индукции образца туфа составляет при той же скорости протекания около 10 нТл (4). Тогда вариация модуля полного вектора за счет изменения магнитного момента такого же объема, что и приведенный выше, будет максимальна над центром и составит около $\Delta T_z \approx 0,2$ нТл.

Таким образом, в районах залегания пористых туфов можно ожидать значительный вклад электрокинетических токов в вариацию геомагнитного поля при изменении фильтрационного режима. Что касается базальтов, то судя по экспериментальным данным в них большую роль играет «эффект смещения» (4). Учитывая, что на территории Армении широко распространены покровные базальты, мощность которых достигает первых километров (5), рассмотрим аномальное поле над полупространством при возникновении в массиве горизонтального потока жидкости.

Для скорости фильтрации 1 см/сут. можно ожидать аномального изменения геомагнитного поля на дневной поверхности $\Delta T_z = 4\pi \cdot \Delta J_n$ величиной до 13 нТл (4): ΔJ_n — изменение намагниченности за счет «эффекта смещения».

Таким образом, при определенной конфигурации объемов горных масс фильтрация в них жидкости может вызывать локальные геомаг-

нитные вариации, соизмеримые с наблюдаемыми в сейсмоактивных районах. Зарегистрированные случаи геомагнитных вариаций в местах залегания слабомагнитных пород, выделяемые как предвестники землетрясений, могут быть следствием возникновения фильтрационных процессов. Результаты анализа выполненного комплекса исследований можно рассматривать как аргумент в пользу дилатантно-диффузионного механизма подготовки корового землетрясения. С этих позиций следует ожидать существования пространственно-временных связей между изменениями электротеллурического потенциала, кажущегося электросопротивления, локального геомагнитного поля, а также гидрорежима при сейсмотектоническом процессе.

Институт физики Земли Академии наук СССР
Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения
радиоволн Академии наук СССР
Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Լ. Ս. ԲԵՋՈՒՂԱՅԱ, Ա. Ն. ԿՈՉՈՎ, Կ. Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ
Յու. Գ. ՍԿՈՎՐՈՒԿԻՆ

Ֆիլտրացիոն բնույթի տեղային երկրամագնիսական փոփոխությունները
դիլատանսիայի շրջաններում

Երկրի մագնիսական դաշտի երկարաժամկետ դիտարկումները սեյսմաակտիվ շրջաններում ցույց տվեցին, որ երկրաշարժերի հետ կապված տեղային երկրամագնիսական փոփոխությունները կարող են լինել ոչ միայն սիստեմազանգվածային բնույթի, այլ նաև կարող են մակաժվել էլեկտրական (էլեկտրաթելուրական) հոսանքների փոփոխություններից: Այդ փոփոխությունների ծագման բնույթի ((ֆիզիկական մեխանիզմի) հարցն ունի սկրզրունքային նշանակություն ինչպես երկրաշարժերի ձևավորման մեխանիզմի հասկանալու, այնպես էլ երկրակեղևի դինամիկայի շատ հարցեր պարզարանելու համար:

Որպես հիմք ունենալով Հայկական ՄՈՂ սեյսմաակտիվ շրջանների համար տիպիկ ապարների նմուշների վրա կատարված լաբորատոր մոդելային արդյունքները, հաշվված է մագնիսական դաշտի անոմալ փոփոխությունների հնարավոր լայնությունները ստորգետնյա ջրերի ֆիլտրացիայով պայմանավորված երկու էֆեկտների համար:

Հաշվարկված արժեքներն համընկնում են էպիկենտրոնային շրջաններում դիտարկված երկրամագնիսական փոփոխությունների հետ, որը կարող է ծառայել որպես փաստարկ երկրաշարժերի դիլատանսիոն—դիֆուզիոն մեխանիզմի օգտին:

ЛИТЕРАТУРА—ՅՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ H. Mizutani, T. Ishido, J. Geomagn. Geoelectr., v. 28, № 2 (1976). ² H. Mizutani, T. Ishido, T. Jokokura et al., Geophys. Res. Zell., 1976, v. 3, № 7 (1976). ³ Г. М. Оганесян, X. В. Куракосян, в кн.: Прогноз землетрясений, № 7, Дониш, Душанбе—Москва, 1986. ⁴ А. Н. Козлов, Г. М. Оганесян, Ю. П. Сквородкин, в кн.: Прогноз землетрясений № 7 Дониш, Душанбе—Москва, 1986. ⁵ А. Е. Габриелян, О. А. Саркисян, Г. П. Симонян, Сейсмотектоника Армянской ССР, Изд-во ЕГУ, Ереван, 1981.