

С.М. АММОСОВ, Г.И. ВОЙТОВ, А.О. ГРИНЕВСКИЙ, А.В. НИКОЛАЕВ,  
Г.С. КОРОБЕЙНИК, О.Б. ХАВРОШКИН, Г.С. ФЕДОРОВА, В.В. ЦЫПЛАКОВ

### ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПОДПОЧВЕННОЙ АТМОСФЕРЫ В СЕЙСМИЧЕСКОМ ПОЛЕ НЕСКОЛЬКИХ ВИБРОИСТОЧНИКОВ

*(Представлено академиком М.А. Садовским 3 III 1986)*

Считается [1–3], что в мобильных, сейсмически активных зонах с высокофрагментированной земной корой и повышенным тепловым потоком облегчена деструкция органического вещества с образованием сложных углеродистых структур нефтяного ряда. Сочетание указанных условий, по-видимому, приводит к деструкции природных органических полимеров даже при более низких температурах, чем принятые в нефтяной органической геохимии, поскольку улучшение каталитических свойств механически деструктированных горных пород сильно понижает энергетические барьеры, при которых рвутся валентные связи природных органических полимеров и образуются химически активные радикалы.

Предприняты попытки моделировать процесс в лабораторных условиях [4], причем показано, что под действием переменных механических сил (сейсмических и акустических источников, взрывов и т.д.), приложенных к горным породам, в последних идут механохимические реакции с образованием сложных органических молекул. Другие структурные изменения пород (увеличение пористости и, соответственно, проницаемости) под действием мощных источников упругих колебаний также описаны в литературе [5, 6].

В реальных средах интенсивность указанных процессов – сложная функция интегрального сейсмического поля, представляющего собой суперпозицию полей от индивидуальных источников возбуждения (например, землетрясений), локализованных как внутри конкретных блоков пород, так и за их пределами. Моделировать такой процесс технически сложно (даже в лабораторном эксперименте трудно соблюсти необходимые условия подобия), но интегральный эффект выхода органических структур от работы нескольких искусственных источников сейсмического поля, параметры которых известны, определить можно.

Нами такая работа выполнена в районе поселка Узнож Гомельской области БССР. Сейсмические колебания возбуждались двумя синхронно работавшими вибраторами с расстоянием между ними 16 м. Изучались гармонические сигналы на частоте 50 Гц, при которой устанавливался режим стоячих волн на профиле между источниками. Колебания приповерхностного слоя связаны в основном с поверхностной сейсмической волной Рэлея, скорость которой составляла порядка 200 м/с.

Одновременной работой двух источников удалось добиться существенного различия (в 3 раза) интенсивности сейсмических колебаний на малой базе профиля (2–3 м). Этим обеспечен контраст амплитуд сейсмического воздействия и однородность свойств почвы и подпочвенных отложений. Продолжительность непрерывного сейсмического воздействия на среду 9 мин, волновое поле регистрировалось на профиле между вибраторами 12 датчиками с расстоянием между приборами 1 м, сей-

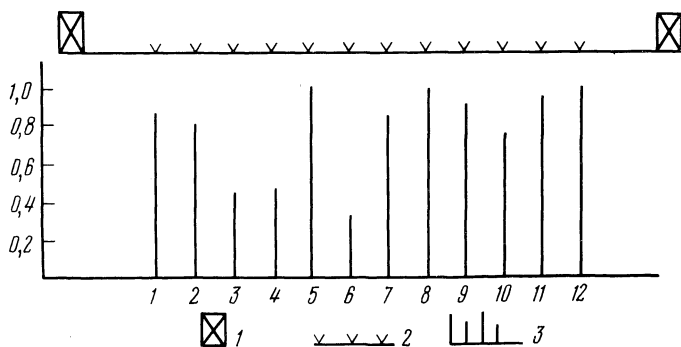


Рис. 1. Схема эксперимента и относительные значения амплитуд сейсмических сигналов по каналам регистрации. 1 – вибрационные источники СВ 10/100; 2 – положение сейсмоприемников на профиле; 3 – относительные амплитуды сейсмических сигналов (амплитуда сигнала на 5-м канале принята условно за единицу)

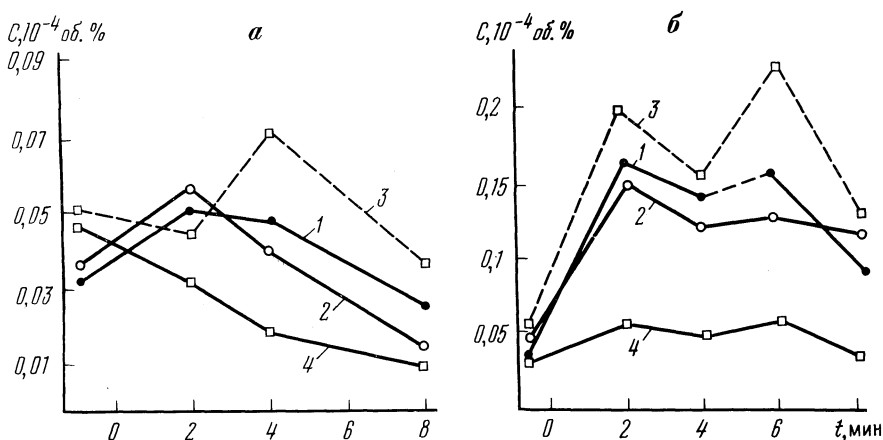


Рис. 2. Изменение концентраций углеводородов в зонах минимума (а) и максимума (б) интенсивности сейсмического поля. 1 – этилен, 2 – этан, 3 – пропилен, 4 – пропан

смические колебания регистрировались станцией "Прогресс" (рис. 1). Максимальная амплитуда сейсмических колебаний поверхности составляла около  $3 \cdot 10^{-2}$  мм, плотность сейсмической мощности –  $0,5 \text{ Вт/м}^3$ . Образцы газов из подпочвенных отложений отбирали по ранее описанной методике [7] в четырех точках, соответствующих двум максимумам (5-й и 8-й каналы) и двум минимумам (3-й и 6-й каналы) сейсмической мощности.

Излучаемая виброисточником энергия недостаточна для нарушения механической структуры среды, однако механохимические реакции, изменяющие качественный состав подпочвенной атмосферы, ранее наблюдались [7], причем в определенном интервале частот между интенсивностью сейсмического поля и выходом легучих существовала прямая зависимость. Поэтому следовало ожидать, что в сложном сейсмическом поле, создаваемом группой виброисточников, в зонах более интенсивного выделения сейсмической энергии, соответствующих зонам сложения амплитуд сейсмических сигналов, в атмосфере подпочв должен быть больший выход продуктов механохимических реакций, т.е. содержание органических структур в атмосфере подпочв в указанных зонах должно расти быстрее, чем в зонах относительного покоя, соответствующих зонам взаимного гашения сейсмических волн.

Таблица 1

Состав и содержание углеводородных газов в атмосфере подпочв в зависимости от интенсивности вибросейсмического поля

| Номер канала | Время отбора после начала работы виброисточника, мин | Частота виброисточника, Гц | Концентрация, $10^{-4}$ % об. |                               |                               |                               |                               |                               |
|--------------|--|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              |  |                            | CH <sub>4</sub>               | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> |
| 3            |  | Фон                        | 1,29                          | 0,027                         | 0,045                         | 0,033                         | 0,032                         | —                             |
| 3            | 2  | 50                         | 3,8                           | 0,011                         | 0,013                         | —                             | Сл.                           | —                             |
| 3            | 4  | 50                         | 2,53                          | 0,011                         | Сл.                           | —                             | —                             | —                             |
| 3            | 8  | 50                         | 1,58                          | 0,016                         | 0,026                         | 0,013                         | Сл.                           | —                             |
| 5            |  | Фон                        | 3,25                          | 0,050                         | 0,058                         | 0,016                         | 0,032                         | —                             |
| 5            | 2  | 50                         | 4,29                          | 0,071                         | 0,058                         | 0,033                         | 0,056                         | —                             |
| 5            | 4  | 50                         | 6,47                          | 0,071                         | 0,065                         | 0,022                         | 0,224                         | 0,035                         |
| 5            | 8  | 50                         | 3,45                          | 0,044                         | 0,026                         | 0,016                         | 0,184                         | 0,053                         |
| 5            |  | Фон                        | 1,58                          | 0,044                         | 0,039                         | 0,011                         | 0,120                         | —                             |

Химический состав углеводородов в сложном сейсмическом поле подпочв\* сильно неоднороден (табл. 1). В зонах максимума выделения сейсмической энергии замерен полный спектр гомологов метана до бутилена включительно, в то время как в зоне минимума он существенно беднее. С другой стороны, темп роста концентраций углеводородов в зонах выделения максимума сейсмической энергии более высок по сравнению с темпом роста концентраций углеводородов в зонах минимума сейсмической энергии, т.е. перераспределение газов и соответственно их транспорт в атмосферу в первом случае происходит более активно (рис. 2).

Таким образом, эмпирически обнаруживается связь между интенсивностью сейсмического и газогеохимического полей (между интенсивностью сейсмического поля и концентрациями углеводородов и их спектром). При снятии сейсмического поля концентрации углеводородов в атмосфере подпочв быстро уменьшаются до фоновых (рис. 3). Поскольку последнее, по-видимому, обусловлено сорбцией углеводородов на поверхностях капилляров пород и фрагментов органического вещества, можно допустить, что процессы механохимического образования углеводородов сосуществуют с их стоком на активные поверхности сорбентов, где они образуют моно- или полимолекулярные слои сорбированных газов.

По-видимому, можно утверждать, что энергия источников сейсмического излучения стимулирует образование в атмосфере подпочв углеродистых структур, причем интенсивность процесса зависит от удельной сейсмической энергии, приходящейся на единицу объема подпочв или эманлирующей поверхности (в данном случае поверхности скважины, из которой отбирались образцы). Оценки показывают, что на расстоянии 5–10 м от оси вибраторов СВ 10/100, работающих на частоте 50 Гц, в пучностях сейсмического поля плотность потока сейсмической энергии составляет порядка 10 Дж/м<sup>2</sup>с, в то время как в узлах она уменьшается до 1 Дж/м<sup>2</sup>с. Соответственно для условий эксперимента на единицу мощности вибро-

\* Спектр углеводородов в фоновых образцах газа из атмосферы подпочв представлен (табл. 1) всеми компонентами углеводородов, однако их содержание систематически ниже содержания углеводородов в образцах газа, полученных при работе сейсмических источников в зонах максимумов выделения сейсмической энергии.

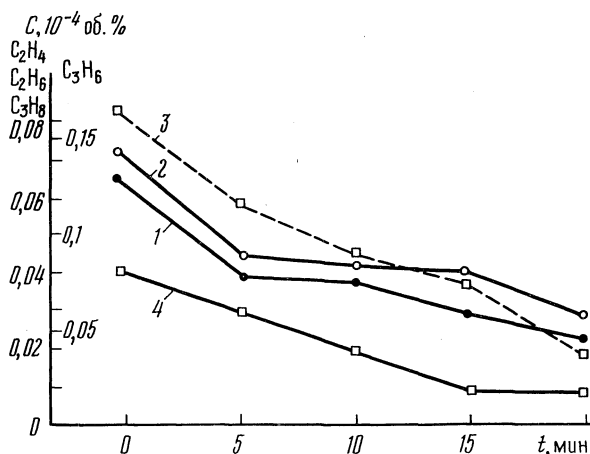


Рис. 3. Изменение концентраций углеводородов при снятии сейсмического воздействия (время отсчитывается с момента окончания работы виброисточников). 1 – этилен, 2 – этан, 3 – пропилен, 4 – пропан

сейсмического поля (Дж/с) образуется порядка  $2,5 \cdot 10^{-9}$  моль  $C_2H_4$  и  $1,2 \cdot 10^{-8}$  моль  $C_3H_6$ . Поэтому при прочих равных условиях (темпах отбора образцов подпочвенных газов из скважины, объеме последней и структуре подпочвенных отложений) соотношения в подпочвенной атмосфере пар этан–этилен, пропан–пропилен и др. в пучностях и узлах сейсмического поля существенно различны (рис. 2).

Образующиеся в вибротсейсмическом поле в радикальном процессе олефины химически нестабильны и при наличии свободного водорода, источником которого в вибротсейсмическом поле может быть, в частности, диссоциация молекул  $H_2O$ , дают углеводороды метанового ряда. Поэтому определенный интерес представляет наблюдающееся в вибротсейсмическом поле атмосферы подпочв соотношение между этаном и этиленом, пропаном и пропиленом (рис. 2, 3). Во-первых, содержание компонентов рассматриваемых пар всегда выше фонового, во-вторых, интенсивность процесса их образования явно зависит от энергии вибротсейсмического поля (спектр углеводородов в зонах пучности сейсмического поля существенно богаче спектра углеводородов в его узлах), и, наконец, интенсивность стока этилена (интенсивность присоединения водорода по реакции  $H_2C = CH_2 + H_2$  с образованием этана) энергетически, по-видимому, выгоднее стока пропилена (интенсивности присоединения водорода по реакции  $H_2C = CH - CH_3 + H_2$  с образованием пропана), что также следует из энергии их образования по указанным схемам – 124,7 и 136,2 кДж/моль соответственно [8].

Таким образом, при прочих равных условиях (состав подпочв и содержание в них органического вещества, температура и влажность подпочвенного слоя, характеристики вибротсейсмического поля и т.п.) ведущим фактором механохимических реакций образования органических структур в вибротсейсмическом поле является энергетический. Темп образования углеродистых структур в подпочвенной атмосфере всегда выше в пучностях сейсмического поля по сравнению с его узлами. Аналогично спектр углеродистых структур также шире в пучностях сейсмического поля.

Институт физики Земли О.Ю. Шмидта  
Академии наук СССР

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
ядерной геофизики и геохимии  
Москва

Поступило  
27 III 1986

## ЛИТЕРАТУРА

1. Царев В.П., Кузнецов О.Л., Кузнецов Ю.И. и др. В кн.: Изучение напряженного состояния массивов горных пород акустическим методом. М., 1980, с. 31.
2. Трофимук А.А., Черский Н.В. и др. — Геол. и геофиз., 1982, № 6, с. 72.
3. Черский Н.В., Царев В.П., Николаев С.В. — ДАН, 1977, т. 232, № 4, с. 931.
4. Царев В.П., Кузнецов О.Л. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1978, № 6.
5. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1982.
6. Никифоровский В.С., Шемякин Е.И. Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, 1979.
7. Николаев А.В., Аммосов С.М., Войтов Г.И. и др. — ДАН, 1984, т. 279, № 6.
8. Cox J.D., Plicher C. Thermochemistry of organic and organometallic compounds. L.; N.Y., 1970.

УДК 550.372

ГЕОФИЗИКА

М.Я. БАЛБАЧАН, И.С. ТОМАШЕВСКАЯ

### ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В РЕЗУЛЬТАТЕ МЕХАНОЭЛЕКТРИЗАЦИИ

(Представлено академиком М.А. Садовским 17 VI 1986)

В работах ряда исследователей экспериментально показано, что наложение электрического поля напряженностью  $E = 10^5 - 10^7$  В/м на деформируемые щелочно-галоидные кристаллы влияет на их прочность. При этом наблюдается как упрочнение на стадии пластического деформирования и образования макротрещин, так и разупрочнение образцов [1—4]. Эти явления интерпретируются как результаты взаимодействия электрического поля с заряженными дислокациями или катионными вакансиями, а также усиления электростатического притяжения между стенками трещин.

Механоэлектризация горных пород, сложенных минералами диэлектриками, в результате разрушения отрывными трещинами или трения, в частности, об образцы того же состава приводит к возникновению электретного состояния [5]. При этом в объеме образцов появляется релаксационная поляризация, характеризующаяся существенной неоднородностью зарядов по величине и ориентации диполей, возникающих на уровне минеральных зерен. Такой вывод сделан в результате исследований распределения заряда на поверхности механоэлектризированных образцов, проведенных с помощью микрозонда. Оказалось, что как на наэлектризованных, так и на обратных им поверхностях возникает мозаика разноименно заряженных участков, локализованных на уровне зерен. Плотность эффективных зарядов поверхности таких участков через несколько минут после окончания электризации  $5 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-5}$  Кл/м<sup>2</sup> при размерах образцов 20 × 20 × 20 мм. Установлено, что во время электризации импульсы  $E$  между элементами мозаики достигают значений  $8 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^3$  В/м, причем при раскалывании образцов эти значения могут более чем в 10 раз превышать наблюдаемые при трении.

В настоящей работе экспериментально проверено предположение о том, что механоэлектризация образцов горных пород приводит к изменению их механической прочности.

Опыты поставлены на образцах мрамора из трех разных месторождений,