

И.Г. КИССИН

**ОБ АНОМАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЯХ ОБВОДНЕННОСТИ
НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**

(Представлено академиком В.А. Магницким 22 VII 1982)

Эксплуатация нефтяных месторождений обычно сопровождается прогрессирующим увеличением количества воды в общем объеме извлекаемой жидкости. Динамика обводнения продукции зависит от вязкости нефти и воды, строения пластов и мощности переходной водо-нефтяной зоны, условий эксплуатации месторождения и ряда других показателей [1, 2]. Некоторые из этих показателей чувствительны к изменениям напряженно-деформированного состояния среды перед землетрясениями. Поэтому вариации соотношения нефти и воды при разработке месторождений, расположенных в сейсмоактивных районах, могут представлять интерес для прогноза времени землетрясений.

Рассмотрим некоторые примеры изменения обводненности продукции нефтедобывающих скважин перед сильными землетрясениями Средней Азии и Кавказа. Для анализа были использованы промысловые данные о соотношении нефти и воды и степени обводненности продукции по ряду эксплуатируемых скважин. С этой целью были выбраны скважины, которые отличаются более стабильным режимом работы и расположены на месторождениях, где не проводится искусственное заводнение.

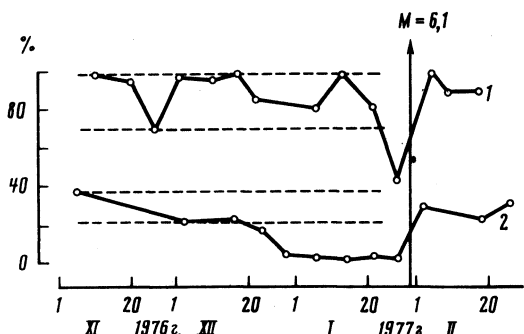
Перед Исфара-Баткенским землетрясением 31 I 1977 с магнитудой $M = 6,1$ в юго-западной части Ферганской долины по некоторым нефтяным скважинам на месторождениях Айритан и Северный Канибадам обводненность продукции снизилась (рис. 1). Это снижение произошло по одной скважине за несколько дней, по другой — за месяц до толчка.

Дараут-Курганскому (Алайскому) землетрясению 1 XI 1978 с $M = 6,8$ в Южном Тянь-Шане предшествовало резкое повышение обводненности скважин на Айританском и Ниязбекском месторождениях (рис. 2). Эта аномалия проявилась за 7–10 сут до толчка.

Ачхой-Мартановское землетрясение произошло в ночь с 17 на 18 VI 1969 в 50 км к юго-западу от Грозного, $M = 5,1$. Эффект этого землетрясения изучался по скважинам Малгобек-Вознесенского месторождения, расположенного в 60 км от эпицентра. Для месторождения характерен постепенный рост количества воды в добываемой нефти, и по большинству скважин землетрясение существенно не повлияло на этот процесс. Четкие аномалии перед толчком отмечены по отдельным скважинам и отличаются по своему виду (рис. 3). Так, по скв. 846 в течение 10 дней, предшествующих землетрясению, обводненность резко выросла с 64 до 100%, вследствие чего эксплуатация скважины была прекращена. Бухтообразное изменение обводненности — снижение с последующим ростом — наблюдалось по скв. 160. Подобная аномалия повторилась и перед афтершоком, который был зарегистрирован 22 июня. Указанные скважины находятся на восточном и западном флангах месторождения и разделены разломами, с чем, видимо, связано различие аномальных эффектов.

По скв. 887 Малгобек-Вознесенского месторождения были прослежены аномалии обводненности, предшествующие разным землетрясениям (рис. 4). В обоих слу-

Рис. 1. Изменение обводненности продукции нефтедобывающих скважин перед Исфара-Баткенским землетрясением 31 I 1977. 1 – скв. 11 Айритан, эпицентрального расстояние $\Delta = 20$ км; 2 – скв. 8 Северный Канибадам, $\Delta = 25$ км. Здесь и на рис. 2–4: вертикальная стрелка – время землетрясения, штриховые линии – границы интервала фоновых вариаций обводненности в сейсмически спокойный период



чаях наблюдался однородный эффект – повышение степени обводненности. Продолжительность эффекта была значительно больше перед удаленным сильным Дагестанским землетрясением ($M = 6,6$), чем перед местным Старогрозненским землетрясением ($M = 4,1$).

Приведенные примеры показывают, что аномальный эффект обводненности нефтяных скважин, предвещающий землетрясения, может быть в ряде случаев выделен даже в условиях довольно грубых замеров, обычно практикуемых на промыслах. Так же, как и другие гидрогеодинамические предвестники землетрясений, аномалии обводненности наблюдаются на большом удалении от эпицентра. После землетрясений нередко фиксируются скачкообразные изменения обводненности – возвращение к фоновым показателям (см. рис. 1, 2), что характерно и для других гидрогеодинамических предвестников [3].

Можно указать несколько основных факторов, определяющих формирование аномалий обводненности нефтедобывающих скважин перед землетрясениями.

1. Соотношение вязкости нефти μ_n и воды μ_v $\mu_1 = \mu_n / \mu_v$. При увеличении μ_1 обводненность продукции повышается [2]. Вязкость пластовых нефтей с ростом давления P снижается в диапазоне, меньшем давления насыщения нефти газом P_1 , и возрастает при $P > P_1$. В сравнительно узких интервалах давлений зависимость вязкости нефтей и воды μ от давления P описывается уравнением [4]

$$\mu = \mu_0 [1 - a_\mu (P_0 - P)],$$

где μ_0 – вязкость при давлении P_0 , a_μ – пьезокэффициент вязкости.

Поскольку вязкость воды почти не зависит от давления (величина a_μ для воды очень мала), соотношение вязкости μ_1 с ростом давления определяется преимущественно изменением вязкости нефти. Следовательно, при изменении напряженно-деформированного состояния среды перед землетрясением рост давления в залежи в интервале, превышающем P_1 , приведет к увеличению обводненности добываемой жидкости, а при давлении, меньшем P_1 , – к уменьшению обводненности. Обратная картина будет наблюдаться при снижении давления в залежи.

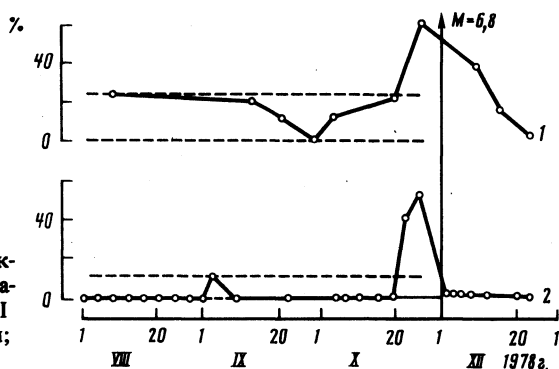


Рис. 2. Изменение обводненности продукции нефтедобывающих скважин перед Даргаут-Курганским землетрясением 1 XI 1978. 1 – скв. 30 Айритан, $\Delta = 200$ км; 2 – скв. 13 Ниязбек, $\Delta = 240$ км

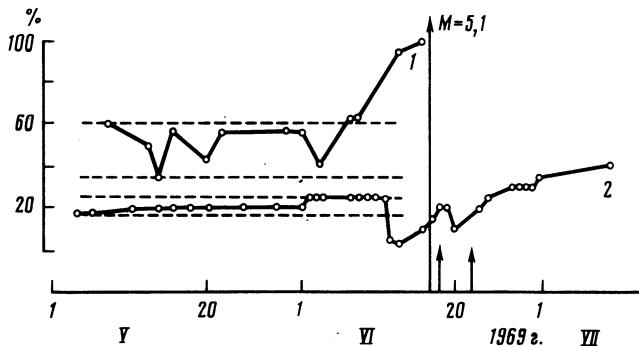


Рис. 3. Изменение обводненности продукции нефтедобывающих скважин Малгобек-Вознесенского месторождения перед Ачхой-Мартановским землетрясением 17 VI 1969, $\Delta = 60$ км. 1 – скв. 846; 2 – скв. 160. Короткие стрелки – афтершоки землетрясения с $K = 10$

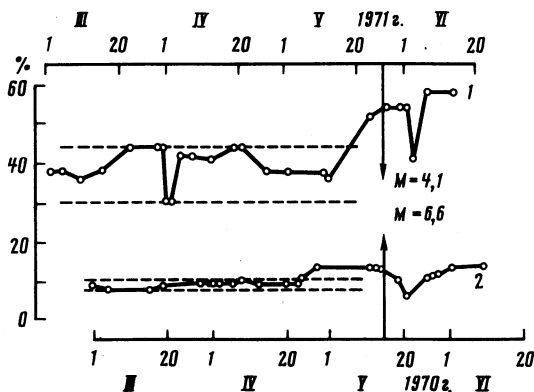


Рис. 4. Изменение обводненности продукции по скважине 887 Малгобек-Вознесенского месторождения перед землетрясениями: 1 – Старогрозненским 26 V 1971, $\Delta = 60$ км; 2 – Дагестанским 14 V 1970, $\Delta = 200$ км

2. Фильтрация жидкости в водо-нефтяной зоне в условиях деформируемых пластов. Движение капельной жидкости, состоящей из двух взаимонерастворимых фаз (воды и нефти), при упруго-капиллярном режиме в деформируемой пористой среде описывается системой нелинейных уравнений [4]. Это движение в трещинно-пористых средах (средах с двойной пористостью), к которым часто относятся нефте-водоносные пласты, имеет свои особенности. Известно, что при разработке залежи избирательное обводнение распространяется прежде всего на более проницаемые зоны (трещины), а в менее проницаемых (пористых) зонах сохраняется нефть. Под действием напряжений вначале деформируется система более крупных каналов (трещин), и напряжение этой системы определяет последующую деформацию системы первичных пор [4]. Кроме того, как это установлено экспериментами [5], относительная проницаемость пород для воды и нефти существенно изменяется под действием всестороннего давления. Таким образом, происходит перераспределение фильтрационных потоков нефти и воды.

3. Воздействие физических полей, изменяющихся в период подготовки землетрясения. Проницаемость водонасыщенных пород повышается под влиянием акустических и электрических полей [6]. Можно полагать, что упругие волны, распространяющиеся из зоны очага перед сильными землетрясениями, различным образом влияют на фильтрацию нефти и воды. Вопрос об излучении сейсмической энергии перед главным разрывом рассмотрен в [7],

однако условия и масштабы влияния этого процесса на фильтрацию жидкостей требуют специального изучения.

Установленные факты влияния подготовки землетрясения и самого толчка на обводненность продукции и, следовательно, нефтеотдачу пород могут представлять интерес в связи с поисками различных путей физического воздействия на продуктивные пласты с целью более полного извлечения нефти.

Поскольку аномальные вариации обводненности нефтедобывающих скважин перед землетрясениями могут появляться в результате действия нескольких факторов, становится понятным разнородный характер предвестниковых эффектов, обнаруженных в различных условиях.

Автор признателен Ю.И. Стклянину за обсуждение некоторых вопросов, затронутых в статье.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Академии наук СССР, Москва

Поступило
4 VII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванова М.М.* Динамика добычи нефти из залежей. М.: Недра, 1976. 247 с.
2. *Ковалев В.С.* В сб.: Разработка нефтяных месторождений. Тр. Гипровостокнефти. М.: Недра, 1973, вып. 18, с. 51–64.
3. *Киссин И.Г.* – Сов. геол. 1981, № 11, с. 118–126.
4. *Николаевский В.Н., Басниев К.С., Горбунов А.Т., Зотов Г.А.* Механика насыщенных пористых сред. М.: Недра, 1970. 335 с.
5. *Ferrell H.H., Felsenthal M., Wolfe J.W.* – J. Petrol. Technol., 1962, vol. 14, № 9, p. 962–966.
6. *Царев В.П., Кузнецов О.Л.* – Изв. АН СССР. Физика Земли, 1978, № 6, с. 94–101.
7. *Зенков В.С., Калинин И.И., Нюнин М.И.* – ДАН, 1980, т. 254, № 2, с. 325–327.

УДК 550.3+550.89

ГЕОФИЗИКА

О.Л. КУСКОВ, Р.Ф. ГАЛИМЗЯНОВ,
член-корреспондент АН СССР Н.И. ХИТАРОВ

ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ $MgO-FeO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ МАНТИИ

Детальное изучение минеральных равновесий при $P-T$ -параметрах мантии оказывается чрезвычайно сложным в экспериментальном отношении, и в настоящее время достаточно надежно исследованы под давлением лишь отдельные фазовые превращения [1–5]. Намного большие возможности при изучении минералогического состава и внутреннего строения мантии открывает комплексный подход, объединяющий возможности эксперимента и термодинамического расчета и позволяющий охватить все многообразие химических и фазовых превращений. Конечная цель такого подхода – построение полной топологической диаграммы состояния мульти-системы. В его основу положены опорные экспериментальные данные по минеральным равновесиям, уравнения состояния и согласованная информация по стандартным термодинамическим функциям фаз.

Перейдем к описанию фазовых соотношений в фундаментальной системе $MgO-CaO-FeO-Al_2O_3-SiO_2$, в которой существуют несколько десятков различных фаз. В настоящей работе ограничимся следующими фазами: MgO , CaO , FeO , Al_2O_3 , SiO_2 (коэзит, стишовит), Mg_2SiO_4 (форстерит, β -шпинель, γ -шпинель),