



НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ: ИНФОРМАЦИЯ К РАЗМЫШЛЕНИЮ

М.И. Рыскин, А.В. Иванов

В настоящее время в науках о Земле реально действуют преимущественно принципы Ньютоновой картины мира и развиваются ростки квантовых представлений. Вместе с этим наблюдается активное проникновение идей нелинейной динамики в самые разные области наук о Земле: геофизику, нефтяную геологию, геохимию и другие. Наиболее органично нелинейные идеи воспринимает геофизическое направление. Обсуждаются принципы нелинейной сейсморазведки как наиболее показательный пример проникновения идей нелинейной динамики в геофизическую практику.

В последнее время в науках о Земле назревает своеобразный кризис, который проявляется на наших глазах прежде всего стремительным нарастанием информационного хаоса. «Натурных данных в геологии к настоящему времени накоплено столько, что специалисты буквально тонут в них. Этот вал продолжает катастрофически расти и мы не в состоянии не только его осмыслить, но даже квалифицированно обработать. И трагедия усугубляется еще тем, что весь этот разнообразный материал уже не помогает делу, он не решает принципиальных задач, а лишь их множит» [1].

Подобная ситуация характерна не только для наук о Земле. Это лишь одно из проявлений «новой растущей диспропорции в развитии человечества в целом - диспропорции между человечеством как совокупным производителем информации и отдельным человеком как ее потребителем и пользователем» [2]. Сама же эта ситуация классифицируется М.Н. Эпштейном как информационный взрыв.

Возвращаясь к наукам о Земле, необходимо добавить, что помимо сказанного современный этап их развития характеризуется наиболее сильным (наверное, за всю историю) разрывом реально действующей сегодня в геонауках аксиоматики и методологии, с одной стороны, и современной физико-философской, бурно развивающейся и стремительно изменяющейся картины мира, с другой. На смену парадигме квантовой физики и теории относительности уверенно приходит парадигма нелинейной динамики, хаоса и структурной организации систем [3-8]. В то же время, в науках о Земле к началу 1990-х годов преимущественно действовали принципы еще Ньютоновой картины мира и фактически только появились ростки квантовых представлений [1], уязвимые для критики (см., например, [9]), хотя и наблюдались уже единичные случаи проникновения синергетических идей, спровоцированные бурной эволюцией этой новой парадигмы.

Во второй половине 1990-х годов, преимущественно благодаря работам Ю.М. Пушаровского, появились попытки обобщения фактов и прошли дискуссии о линейности и нелинейности в геологии [10]. По этой тематике проведено несколько научных конференций и семинаров различных уровней, постоянно появляются публикации, новое направление очерчивается и развивается. Наиболее «продвинутыми» областями приложения нелинейных идей на сегодняшний день можно назвать геодинамику и геофизику.

Нелинейность в геодинамике. Геодинамика как эволюционная дисциплина приняла нелинейные представления наиболее естественным и органичным образом. Все элементы этих представлений - неустойчивость, фазовые переходы, бифуркационные состояния, триггерный эффект, наконец, самоорганизация и пр., свойственные эволюции сложных, термодинамически неравновесных, то есть открытых, диссипативных систем, здесь присутствовали всегда, но не всегда выдвигались на передний план как системообразующие. Так, А.В. Лукьянов [11] отмечает, что в Геологическом институте РАН еще с конца 1950-х годов целенаправленно, в течение длительного времени изучались причины упорядоченности строения геологических объектов, в результате чего были сделаны выводы о широкой распространенности явления самоорганизации в геологических процессах и об их существенной нелинейности.

По поводу происхождения феномена упорядоченности высказывались разные мнения, укладывающиеся в две группы объяснений: 1) порядок «навязывается» геологическим системам извне и 2) упорядоченность возникает спонтанно, внутри геологических систем, являясь их неотъемлемым свойством. Во втором смысле употреблялся термин «самоорганизация». Вполне понятно, что обе эти группы по отношению к конкретным примерам имели веские основания и не исключали, а дополняли друг друга. Особенности же нелинейной характеристики геологических процессов состояли, как пишет А.В. Лукьянов, в том, что «они не описываются математическими формулами, и конкретный вид линейного или нелинейного оператора нам не известен. Поэтому приходится обращаться к основному свойству линейного оператора - принципу суперпозиции (результат суммы воздействий равен сумме их результатов). Если этот принцип соблюдается, мы говорим о линейной зависимости, если нет, то о нелинейной, даже не зная конкретную математическую формулировку этой зависимости». Это замечание характеризует вполне типичную для большинства сфер приложения нелинейной динамики ситуацию, которую можно классифицировать как стадию начального нелинейного осмысления. Ибо суть нелинейной динамики как универсального полидисциплинарного научного направления состоит в построении и исследовании математических моделей (то есть уравнений) неравновесных систем.

Нелинейность геологических процессов определяется двумя фундаментальными свойствами геологической среды (горных пород).

- Наличием определенных предельных состояний, в которых отклик среды на действующий фактор перестает определяться линейной зависимостью и становится существенно нелинейным, а сама среда переходит в новое качественное состояние (температуры фазовых переходов, пределы упругости, прочности, пластичности и пр.).

- Способностью геологической среды сохранять старое качество за пределом, соответствующим равновесию между старым и новым состоянием («запредельное терпение»), то есть способностью находиться в метастабильном состоянии.

В 1992 году была опубликована монография Ф.А. Летникова «Синергетика геологических систем» [12], где уже на строгом математическом уровне

рассмотрена не только равновесная термодинамика, но и самоорганизация неравновесных физико-химических систем с геологическими следствиями. В частности, отмечено, что для понимания эволюции геологических систем важно определить в каждом конкретном случае степень их устойчивости, ибо в состоянии, близком к неустойчивому, любая система чутко реагирует даже на слабые и случайные внешние воздействия:

«В эту сферу входят все метастабильные системы, но даже среди них существует своя иерархия по степени реагирования на внешние шумовые воздействия, что определяется энергией связи между компонентами в этих системах. Так, воздействие ультразвука на флюидную систему приведет к ее существенным изменениям, в то время как это же воздействие на метаморфическую или магматическую породы не окажет никакого влияния.

Отличительная черта неустойчивой системы - ее многовариантность или мультиплетность, столь хорошо проявленные при эволюции рудообразующих флюидных систем, когда количественные соотношения и состав фаз, отличаемых флюидами, колеблются в широких пределах, а факторы самоорганизации таких систем играют огромную роль в их последующей консервации в скопление минеральных агрегатов».

И далее как одна из наиболее сложных проблем для синергетики геологических систем выдвигается проблема обнаружения элементов самоорганизации на различных иерархических ступенях эволюции, когда последующая стадия может стирать информацию о предыдущей.

Другая проблема - необходимость аналитического выражения обнаруженных синергетических признаков в терминах термодинамики, математической физики или путем создания адекватных математических или тепловых моделей изучаемого процесса. В монографии Ф.А. Летникова предприняты успешные попытки решения этих проблем применительно к процессам самоорганизации при зарождении, росте и преобразовании минералов, а также к процессам тектонической и магматической (флюидной) активизации на разных этапах развития литосферы и астеносферы Земли.

Уяснение, благодаря сейсмотомографическим данным, тектонической расслоенности литосферы и многоярусной природы мантийной конвекции наряду с обнаружившимся поразительным разнообразием и несомненностью нелинейных эффектов в глубинной эндогенной геодинамике, привело в 1994 году к появлению в работах японских геологов новой глобально-динамической нелинейной модели. В ней учтена вся тектоническая триада: тектоника роста (тектоника ядра Земли), плюмтектоника, распространяющаяся на всю мантию от ядра до границы 670 км, и тектоника плит, присущая земной коре и верхней мантии до упомянутой границы [13]. Примерно в эти же годы появились работы Б.А. Соколова [14], где процессы нефтегазообразования рассматриваются как нелинейные и предлагается автоколебательная модель нефтегазового месторождения.

В конце концов, открывая третий семинар по нелинейной геодинамике в 2001 году, Ю.М. Пушаровский заметил, что интерес ученых к нелинейному развитию процессов любого уровня принимает «взрывной» характер. И тем не менее, в подавляющем большинстве докладов того же семинара анализ линейности или нелинейности процессов в строгих рамках термодинамики отсутствовал.

Нелинейность в геофизике. Нелинейная геофизика также началась с новых представлений о среде. В трудах академика М.А. Садовского и его школы в 1980-е годы было сформулировано понятие геофизической среды, лежащее в основе нелинейной геофизики и, в частности, нелинейной сейсмологии. До этого теоретической основой сейсмологии и сейсморазведки было учение о механике

сплошной среды - упругой, пассивной, реагирующей на внешние воздействия при условии их малости и кратковременности в соответствии с законом Гука. Главная особенность такой среды - уменьшение амплитуды колебания с удалением от источника вследствие геометрического расхождения волнового фронта.

Идея сейсморазведки применительно к такой модели выглядит следующим образом (рис. 1). Возбуждаемые искусственным землетрясением (взрывом, вибровоздействием, пневматическим излучателем) упругие волны достигают границ раздела толщ с различными акустическими жесткостями (рис. 1, а, б). На этих границах происходит отражение и преломление, и таким образом энергия падающей продольной волны P_1 перераспределяется между четырьмя вторичными

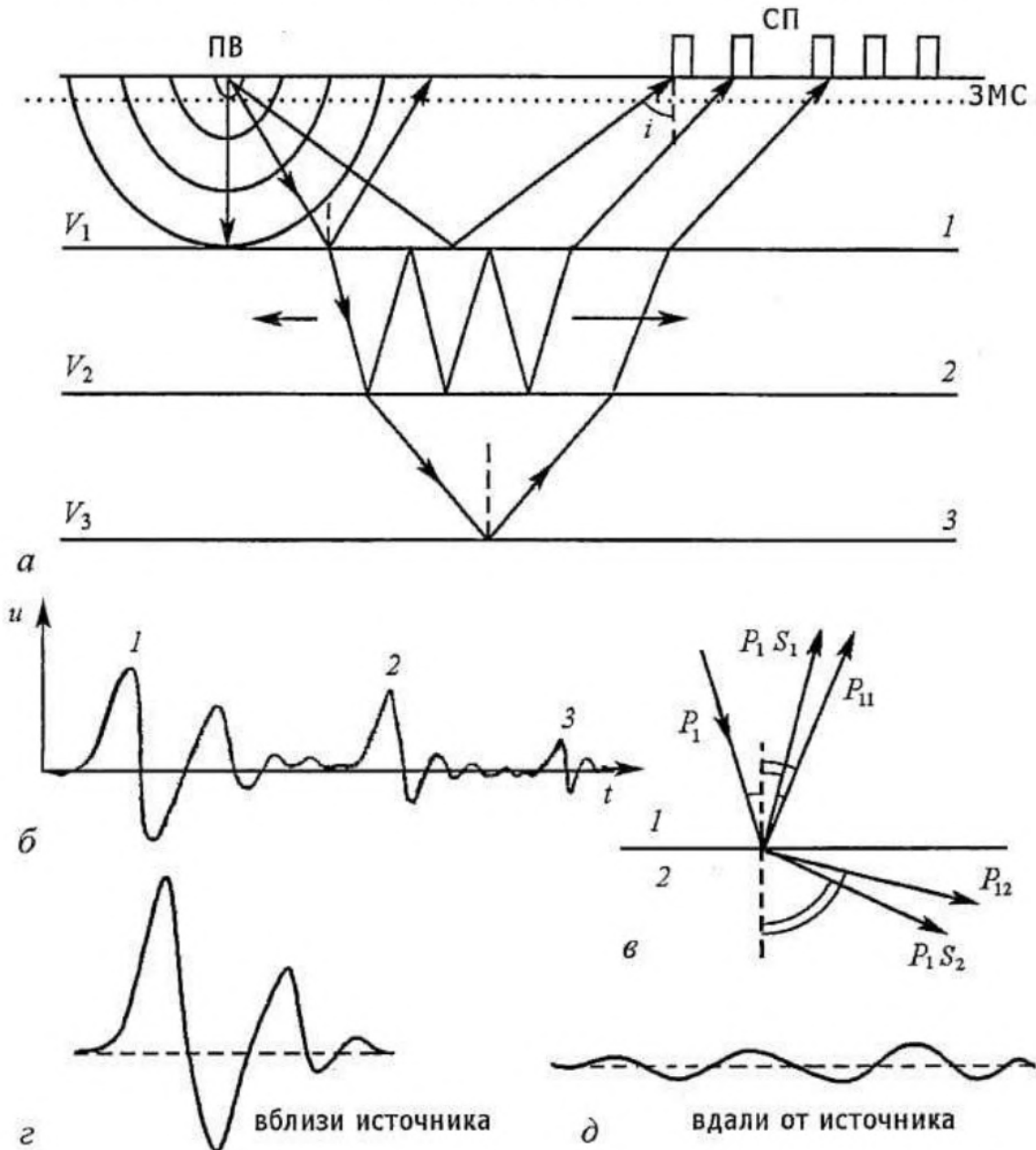


Рис. 1. К идее сейсмической разведки, основанной на модели сплошной среды. а - Схема возбуждения и регистрации сейсмических волн; ПВ - пункт возбуждения, СП - сейсмоприемник, ЗМС - приповерхностная зона малых скоростей, V_i - пластовые скорости упругих волн, цифрами пронумерованы пласты и поверхности раздела; в слое 2 показана только одна многократно отраженная волна. б - Запись отраженных волн сейсмоприемником, индексы 1, 2, 3 соответствуют номерам границ, от которых отразилась земная волна. в - Образование вторичных монотипных и обменных волн; P - продольная волна, S - поперечная. г, д - Деформация сейсмического импульса в модели сплошной упругой среды

волнами: двумя отраженными P_{11} и P_1S_1 и двумя преломленными волнами P_{12} и P_1S_2 . Волны P_{11} и P_{12} являются монотипными, то есть остаются продольными, а P_1S_1 и P_1S_2 - обменными, то есть после встречи с границами распространяются далее, меняя свой тип - становятся поперечными. Интенсивность вторичных волн определяется соотношением скоростей их распространения и углами падения, отражения и преломления (рис. 1, в) в соответствии с законом Снеллиуса

$$\frac{\sin i_{P_1}}{V_{P_1}} = \frac{\sin i_{P_{11}}}{V_{P_1}} = \frac{\sin i_{P_1S_1}}{V_{S_1}} = \frac{\sin i_{P_{12}}}{V_{P_2}} = \frac{\sin i_{P_1S_2}}{V_{S_2}} = \frac{1}{V^*},$$

где V^* - кажущаяся скорость, определяемая соотношением $V^* = V/\sin i$, i - угол подхода вторичной волны к поверхности наблюдения (см. рис. 1, а). Это обстоятельство также проявляется в уменьшении интенсивности вторичных волн, и запись колебаний, осуществляемая сейсмоприемником, может выглядеть так, как это показано на рис. 1, в. Одновременно амплитуда колебаний уменьшается за счет неупругого поглощения энергии волн, причем это поглощение идет избирательно - геологическая среда «работает» как фильтр нижних частот, гася высокочастотные компоненты спектра. Так, на некотором удалении l от источника колебаний амплитуда U_l в сравнении с начальной U_0 составляет $U_l = U_0 e^{-\alpha l}$, где коэффициент поглощения α в большинстве случаев прямо пропорционален частоте $\alpha = \delta f$, δ - коэффициент пропорциональности. В результате форма сейсмического импульса радикально меняется - амплитуды уменьшаются, энергия волны «перекачивается» в хвостовые фазы (рис. 1, з, д), сигнал растягивается и видоизменяется. Сама среда, как видно из приведенных рассуждений и рисунков, принимает только пассивное участие в формировании волнового поля, не привнося в него каких-либо новых колебаний за счет собственного энергетического ресурса. Регистрация отраженных и преломленных волн осуществляется в присутствии различного рода помех, например, кратных отражений (см. рис. 1, а), лишь отчасти устранимых в процессе компьютерной обработки записей. Это приводит к большим трудностям интерпретации полезных волн, особенно в части прогнозирования вещественного состава пород (литологии) и их нефтенасыщенности, так как литологическая и флюидальная (содержание нефти, газа, воды в составе флюида) характеристики разреза определяются, в первую очередь, динамическими - амплитудными и частотными особенностями записей, сильно искаженными действием указанных причин. Отмеченные трудности усугубляются в рамках *старой модели* тем, что породы не обладают собственной энергией и не могут накапливать ее при геодинамических процессах, постоянно идущих в недрах Земли.

Новую модель среды легче всего представить, если вообразить, что хотя бы одно землетрясение уже когда-то произошло и речь идет о повторном возбуждении колебаний. Сплошность среды уже нарушена, есть трещины и микротрещины, есть куски, отдельности, флюиды, заполняющие эти трещины и все пустотное пространство породы - поры, содержащие газовую и жидкую фазу. Таким образом, новая модель представляет собой сложную систему, состоящую из блоков различных размеров, подчиняющуюся определенной последовательности (по М.А. Садовскому [15]). Система открыта, как и составляющие ее отдельности, для энергообмена с окружающей средой. Блоки в системе отделены друг от друга прослойками, сложенными из блоков разных размеров меньшего масштаба. Эта открытая система квазистационарна - в ней идут процессы перераспределения и трансформации энергии (и массы), поступающей извне. Она гетерогенна, энергонасыщенна и фрактальна (с элементами самоподобия упомянутых блоков). Она способна накапливать эту энергию и сохранять в себе некоторое ее количество (в том числе энергию упругих деформаций) в скрытом состоянии и

после устранения непосредственных источников, бывших причиной ее появления. Энергонасыщенность проявляется в виде постоянно действующей сейсмической и акустической эмиссии, причем каждая среда «звучит» по-своему. Распространение волн в такой среде характеризуется рядом особенностей: во-первых, низкочастотные сигналы могут вызывать высокочастотный отклик - расширение спектра идет в обе стороны, и форма записи может оказаться вовсе не такой, как показано на рис. 1, 2, д; во-вторых, слабый сигнал может вызвать сильный отклик; в-третьих, при взаимодействии гармонических волн появляются волны новых частот, кратных основным гармоникам - суммарным и разностным; в-четвертых, скорость волн зависит от амплитуды воздействия [16].

В спокойном состоянии, без «накачки», энергия внутренних напряжений находится в равновесном состоянии до достижения определенного уровня. При дополнительном возбуждении (воздействии внешним физическим полем) может произойти высвобождение накопленной энергии, которая, в том числе и в виде упругого поля, приводит к появлению колебаний, характеристики которых определяются физико-химическими свойствами среды (тела). Если выделить эти колебания из общего волнового поля, то можно повысить достоверность прогноза залежей углеводородов. Особенно усиливается энергия излучения сейсмических колебаний после достаточно длительного (20...30 мин) вибровоздействия на среду - она становится «преобразователем спектра». Доминантные частоты для гравия 8...11 Гц, песка - до 25 Гц, глин - до 4 Гц, нефтегазонасыщенных пород - 2...4 Гц.

Залежи углеводородов находятся чаще всего в зонах разуплотнения, а физические поля (вибровоздействия) порождают дополнительные разуплотнения, локально понижающие давления. При этом трещины раскрываются, а растворенный в жидкости газ выделяется в виде пузырьков, создавая сложную многофазную систему, отличающуюся запаздыванием во времени на передачу механических напряжений, колебаний и пр. Следовательно, собственные колебания такой системы - низкочастотные и низкоскоростные, поэтому в ней возникают, помимо обычных P и S волн «первого рода» (среднечастотных и высокоскоростных), близкие по своему характеру к стоячим P -волны «второго рода».

Структурные напряжения (в условиях отклонения объемов среды от равновесного состояния) приводят к деструкции горных пород, а деструкция, в свою очередь, - к изменению геофизических характеристик среды: уменьшению скорости и увеличению поглощающей способности. Тяготение залежей углеводородов к разломно-трещинным субвертикальным системам (трещинным коллекторам) является причиной возникновения локальных столбообразных зон, наблюдаемых в разных физических полях (магнитном, электрическом, гравитационном, особенно четко в сейсмическом). В итоге, новый образ среды характеризуется активностью, различимостью голоса и тембра звучания разных геологических тел. На этой основе разрабатывается новая технология инфразвуковой сейсморазведки.

Инфразвуковая сейсморазведка. В кратком изложении сущность инфразвуковой сейсморазведки заключается в следующем [17]. Первоначально осуществляется *регистрация естественного сейсмического фона* (до вибровоздействия). При вибровоздействии попутно с отраженными от упоминавшихся границ сигналами, генерированными полем источника, дополнительно возбуждаются сигналы низкочастотного диапазона. Низкочастотные колебания присутствуют и в поле естественного микросейсмического фона, но после вибровоздействия это поле существенно усиливается. Это происходит потому, что вибровоздействие «провоцирует разрядку» напряженных состояний среды, усиливает энергоотдачу в сторону генерации сейсмических шумов, в том числе и P -волн «второго рода».

Скважина 9-Перелюбская Скважина 2-Перелюбская Скважина 12-Разумовская

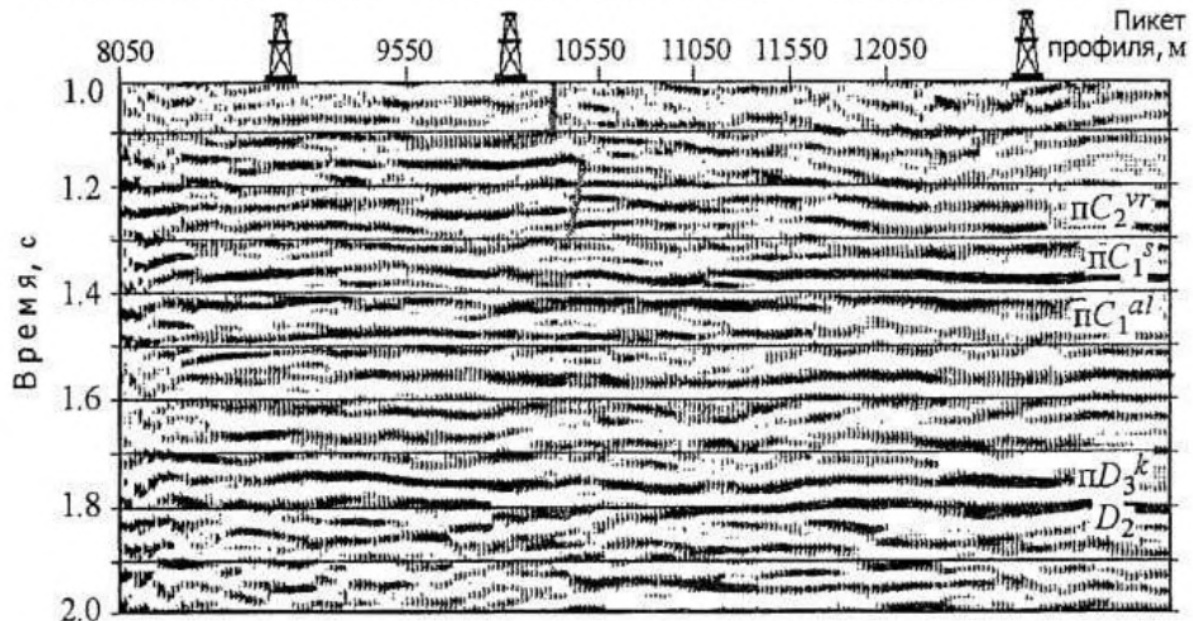


Рис. 2. Фрагмент временного разреза по профилю 199089 Перелюбской разведочной площади. $ПС_2^{vr}$, $ПС_1^s$ и т.д. - стратиграфические индексы отражающего горизонта

На Перелюбской разведочной площади Дальнего Саратовского Заволжья по данным обычной среднечастотной сейсморазведки получен типичный сейсмический временной разрез (рис. 2). По этим же данным выделены и исследованы в [17] сигналы инфразвукового диапазона. Рассчитана энергия естественного сейсмического фона в частотном диапазоне 2...4 Гц (рис. 3), для чего использовались полевые сейсмограммы. Спектры рассчитывались в интервале времени 0...0.4 с на тех участках сейсмограмм, где не может быть никаких сейсмических волн, кроме микросейсм. На графике (см. рис. 3) в интервале ПК 10000...11700 значения энергии инфразвуковых частот повышены, а на временном разрезе в этом интервале (район скважины 2-Перелюбская) наблюдается хорошо выраженная зона разрывных нарушений, показанных на рис. 2 жирными вертикальными линиями. Слева и справа выделяются два других участка с повышенными, но менее интенсивными значениями энергии. Один из них (слева

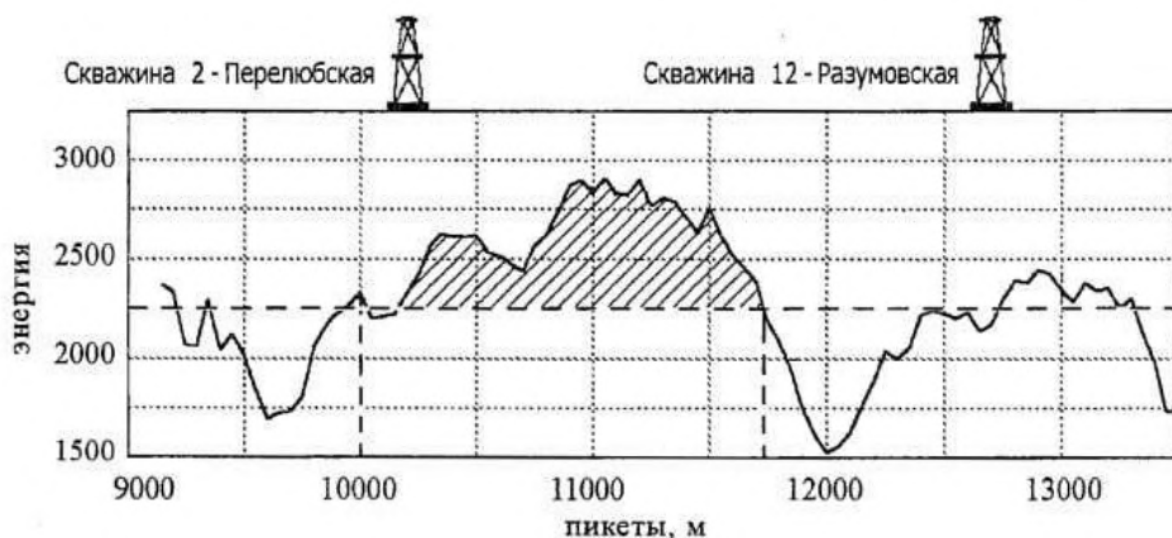


Рис. 3. Изменение интенсивности естественного сейсмического поля в частотном диапазоне 2...4 Гц. Профиль 199089

от ПК 9700) соответствует заложенной под бурение скважине 9-Перелюбской, другой (справа от ПК 12000) - Юргинской структуре.

На разрезе инфразвуковых аномалий, полученном по спецтехнологии обработки, наибольшее число аномалий фиксируется в интервале ПК 10000...12000, что хорошо согласуется с результатами анализа естественного поля. Такое же соответствие есть и с другими участками повышенных значений естественного фона.

В настоящее время скважина 9-Перелюбская пробурена, опробована, и в ее разрезе выделены продуктивные интервалы отложений, намеченные инфразвуковой сейсморазведкой на временах 1.8...1.9 с. Разработчики надеются, что новая технология сейсморазведки, базирующаяся на нелинейных представлениях, станет эффективным аппаратом прямого прогноза нефтегазоносности разреза.

В работе [18], опубликованной журналом «Геофизика» в спецвыпуске, посвященном ОАО «Хантымансийскгеофизика», говорится о природе упомянутых выше субвертикальных зон деструкции, которая определена авторами как «геосолитонная». Отмечено, что при движении ударной волны ее интенсивность изменяется существенно неодинаково в разных направлениях. Быстрее всего ударная волна ослабляется в сторону увеличения плотности, а в сторону резкого уменьшения плотности, напротив, она ускоряется и усиливается. Ускорение ударной волны пропорционально корню квадратному из отношения плотности среды в том месте, где она образуется, к плотности среды в том месте, где она выходит на свободную поверхность. Это приводит к преобладающему субвертикальному направлению зон деструкции горных пород, которое соответствует направлению градиента плотности в осадочных субгоризонтальных отложениях. К таким субвертикальным зонам авторы относят столбообразные аномалии сейсмической записи, характеризующиеся резким падением амплитуд отражений и контролируемые многопластовые залежи углеводородов. Примеры подобных феноменов приведены в названной работе. Они обнаруживают очевидное сходство со структурой некоторых нефтяных месторождений Степновского сложного вала.

Заключение

Приведенные здесь с любезного разрешения авторов [17] экспериментальные данные по опробованию новой технологии сейсморазведки - лучшее подтверждение факта начала проникновения идей нелинейной динамики в геофизическую практику. Вкупе с другими затронутыми результатами исследований в области геодинамики, сейсмологии и сейсморазведки они свидетельствуют об актуальности и перспективности продвижения нелинейных идей в науки о Земле. Активизировать это продвижение можно путем введения синергетических курсов и практикумов в учебные планы по геологическим специальностям и поиском действенных контактов с профессионалами в этой области. Это позволит вывести интуитивные и эмпирические геонаучные построения на уровень создания и исследования математических моделей изучаемых нелинейных процессов и явлений, то есть добиться существенного прогресса в решении сложных прогностических задач геологической науки и практики. Важнейшим аспектом в указанном круге задач является геоэкологический, разработанный наиболее слабо и поэтому особенно нуждающийся в развитии.

Авторами эта проблема разрабатывалась применительно к Научно-образовательному комплексу наук о Земле Саратовского университета, в составе

которого развиваются ряд взаимосвязанных подразделений (НИИ геологии, геологический факультет, Геологический колледж, Лаборатория урбоэкологии) [19,20], в процессе подготовки и апробации «Концепции развития наук о Земле и глобальной экологии в Саратовском университете» [21].

Следует отметить, что именно в СГУ ситуации весьма благоприятствует бурное развитие соответствующих сильных научных школ (в научно-образовательном институте «Открытые системы», на физическом факультете и в НИИ механики и физики). Согласно принятой «Концепции» с целью активизации проникновения «нелинейного» мышления в научно-образовательный процесс предложен и реализуется ряд первоочередных действий. 1. Организован и действует «Общедоступный нелинейный семинар» с привлечением ведущих специалистов университета в области синергетики. 2. Во всех основных научных направлениях научно-образовательного комплекса наук о Земле СГУ инициируется постановка нелинейной тематики, чему способствует изучение явлений бинальности, гомологии и особенностей граничных зон [22]. 3. В программы учебных спецкурсов включаются синергетические элементы с особым вниманием в этой связи к общим геонаучным дисциплинам. Проникновению синергетических идей в науки о Земле весьма способствуют также научные мероприятия междисциплинарной тематики [23-27], на которых представляются и обсуждаются полученные результаты и новые идеи.

Библиографический список

1. Общая и полевая геология / Павлов А.Н., Одесский И.А., Иванов А.И. и др. Л.: Недра, 1991. 463 с.
2. Эпштейн М.Н. Информационный взрыв и травма постмодерна // Звезда. 1999. № 11. С. 216-227.
3. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986. 356 с.
4. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 419 с.
5. Данилов Ю.А. Нелинейность // Знание-Сила. 1982, № 11. С. 34.
6. Трубецков Д.И. Колебания и волны для гуманитариев. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1997. 342 с.
7. Короновский А.А., Трубецков Д.И. Нелинейная динамика в действии. Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2002. 324 с.
8. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. М.: Прогресс-Традиция, 2002. 495 с.
9. Скляр Ю.А. О галактическом варианте геохронологической шкалы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004, № 4.
10. Пуцаровский Ю.М. Линейность и нелинейность в геологии // Геотектоника. 1999, № 3. С. 42.
11. Лукьянов А.В. Основные причины самоорганизации геологических процессов // Вопросы нелинейной геологии и геодинамики: Материалы III семинара по нелинейной геологии и геодинамике. М.: Геос, 1998. С. 15.
12. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, Сиб. изд-во, 1992. 230 с.
13. Хаин В.Е. От тектоники плит к глобальной геодинамике // Природа. 1995, № 1. С. 42.
14. Соколов Б.А. Автоколебательная модель нефтеобразования. М.: Вестник МГУ. - Сер. 4. Геология. 1990, № 5. С. 5.

15. Садовский М.А. О значении и смысле дискретности в геофизике // Дискретные свойства геофизической среды. М.: Наука, 1989. С. 5.

16. Николаев А.В. Развитие физических основ новых методов сейсмической разведки // Нелинейная геодинамика. М.: Наука, 1994. 215 с.

17. Бутенко Г.А., Глечиков В.А. Прогнозирование нефтегазоносности геологического разреза способом инфразвуковой сейморазведки // Недра Поволжья и Прикаспия. 2001, вып. 25. С. 71.

18. Бембель Р.М., Бембель С.Р., Мегеря В.М. Геосолитонная природа субвертикальных зон деструкции // Геофизика. 2001, спецвыпуск. С. 36.

19. Иванов А.В. Исторические предпосылки и перспективы развития научно-образовательного комплекса наук о Земле // Известия Саратовского университета. Новая серия. 2001. Т. 1, вып. 1. С. 36.

20. Иванов А.В., Рыскин М.И. Проблемы интеграции науки и образования в формате научно-образовательного комплекса наук о Земле // Недра Поволжья и Прикаспия. 2001, вып. 28. С. 67.

21. Иванов А.В., Рыскин М.И. Реферат концепции развития наук о Земле и глобальной экологии в Саратовском университете. Саратов: СГУ, 2001. 19 с.

22. Папин Ю.С. Биниология, симметрология и синергетика в естественных науках // Биниология, симметрология и синергетика в естественных науках. Тюмень: ТюмГНГУ, 2001. С. 3.

23. Биниальность и гомология - новое направление в геологии: Межвузовский сборник научных трудов / Под ред. Ю.С. Папина. Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. 112 с.

24. Вопросы нелинейной геологии и геодинамики. М.: Геос, 1998. 109 с.

25. Дихотомия и гомология в естественных науках: Тезисы докладов международной конференции / Под ред. Ю.С. Папина. Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. 108 с.

26. Биниология - новая естественная наука: Межвузовский сборник научных трудов / Под ред. Ю.С. Папина. Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. 133 с.

27. Биниология, симметрология и синергетика в естественных науках: Матер. междунар. конф. / Под ред. Ю.С. Папина. Тюмень: ТюмГНГУ, 2001. 130 с.

*Саратовский государственный
университет*

*Поступила в редакцию 1.09.03
после доработки 6.10.03*

NONLINEAR DYNAMICS IN EARTH SCIENCES: INFORMATION TO REFLECT ON

M.I. Ryskin, A.V. Ivanov

Recently, Newton principles and partly quant theory dominate in Earth sciences to understand outward things. However, an idea of nonlinear dynamics actively penetrates in various branches of Earth sciences: geophysics, oil geology, geochemistry etc. Geophysics perceives these ideas the most organic. Principles of nonlinear seismic is discussed here as the most indicative example of penetrating ideas of nonlinear dynamics in practice.



Рыскин Михаил Ильич - окончил геологический факультет Саратовского государственного университета (1960). Кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры геофизики СГУ. Преполагает в Лицее прикладных наук и гимназии № 1. Автор более 100 публикаций по вопросам комментирования геофизических методов и физико-геологического моделирования, интеграции образования и науки, проблемам культуры, гуманитарного и экологического образования.



Иванов Алексей Викторович - родился в Саратове (1974), окончил Саратовский госуниверситет (1996) по специальности «геолог-нефтяник», кандидат геолого-минералогических наук по специальности «палеонтология и стратиграфия» (1996), доцент. Директор НИИ геологии Саратовского университета (с 1997), председатель Совета научно-образовательного комплекса наук о Земле СГУ (с 2001), первый заведующий новой кафедрой геоэкологии СГУ (с 2002), профессор кафедры геоэкологии (с 2003). Заместитель главного редактора журнала «Недра Поволжья и Прикаспия», член редколлегии журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия», главный редактор издания «Труды НИИ геологии Саратовского университета. Новая серия». Область научных интересов: палеонтология, историческая геоэкология, экологическая геология. Автор и соавтор более 250 работ, в том числе 15 монографий, 8 учебных пособий и научно популярной книги. Трижды «Соросовский доцент».