

УДК 001.18, 550.31

ГЕОФИЗИКА В КОНТЕКСТЕ СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО КРИЗИСА

Кузнецов Олег Леонидович, доктор технических наук, профессор, президент РАЕН, президент ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», со-руководитель Международной научной школы устойчивого развития им. П.Г. Кузнецова

Аннотация

Данная работа посвящена рассмотрению возможной роли в решении проблемы устойчивого развития в условиях глобального кризиса такой стратегически значимой науки, как общая и прикладная геофизика. Определены позиции, которые современная геофизика в состоянии обеспечить для перехода мировой экономики на путь стратегии устойчивого развития, и кратко рассмотрены возможности использования для достижения поставленных целей тех или иных геофизических технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: общая геофизика, прикладная геофизика, устойчивое развитие, геофизические технологии.

GEOPHYSICS IN THE CONTEXT OF THE STRATEGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF THE GLOBAL CRISIS

Kuznetsov Oleg Leonidovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Russian Academy of Natural Sciences, President of the State University "Dubna", co-head of International scientific school of sustainable development n.a. P.G. Kuznetsov

Abstract

This paper is devoted to the consideration of the possible role of such a strategically important science as general and applied geophysics in the solution of the problem of sustainable development in the conditions of the global crisis. The positions that modern geophysics is able to provide for the transition of the world economy to the path of a sustainable development strategy are defined, and the possibilities of using certain geophysical technologies to achieve their goals are outlined.

KEYWORDS: general geophysics, applied geophysics, sustainable development, geophysical technologies.

*Молекулы подчиняются «законам»,
человеческие решения зависят от памяти о
прошлом и от ожидания будущего.*

*И.Р. Пригожин,
лауреат Нобелевский премии по химии 1977 г.*

В начале XXI в. мировая цивилизация столкнулась с невероятным по масштабам глобальным кризисом. Причины и следствия возникновения этого системного кризиса - финансового, экономического, экологического, демографического, продовольственного и др. - рассмотрены нами в работе [1].

Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций Пан Ги Мун в июне 2012 г., предвзяя Международную конференцию по устойчивому развитию "РИО+20", заявил: "Планета находится в состоянии беспрецедентного кризиса. Нам необходимо признать, что нынешняя модель глобального развития нерациональна. Необходимо найти новый путь для продвижения вперед" [2]. По нашему мнению, поиск такого пути возможен только на базе

применения современных естественнонаучных и гуманитарных знаний и новейших технологий, а также смены парадигмы глобального социально-экономического развития и мышления людей, населяющих нашу Планету.

Не претендуя на полное видение проблемы, обратимся в данной работе лишь к рассмотрению возможной роли в решении проблемы устойчивого развития в условиях глобального кризиса такой стратегически значимой науки, как общая и прикладная геофизика.

Основные представления о том, что такое геофизика и какими нитями эта наука связана со стратегией устойчивого развития

Геофизика (от греч. *ge* – Земля и *phisis* – природа) по праву является одной из важнейших наук на Земле.

В научном дискурсе геофизика (общая и прикладная), находясь в пограничной области знаний между геонимией и физикой¹, направлена на изучение строения вещественного состава и эволюции нашей планеты на основе инструментального исследования геофизических полей, физико-геологических моделей и геопроцессов, протекающих в твердой Земле, океане, атмосфере. В промышленной сфере - это высокотехнологичная область исследований, обеспечивающая получение необходимой и важнейшей информации для целей геологоразведки, горного дела, инженерно-строительной сферы, а также для решения специальных задач на суше и акваториях мирового океана (рис. 1).

В терминологии Организации Объединенных Наций устойчивое развитие - это развитие, не только порождающее экономический рост, но справедливо распределяющее его результаты, восстанавливающее окружающую среду, увеличивающее возможности людей, а не обедняющее их (рис. 2). В терминологии Научной школы устойчивого развития Университета "Дубна" (руководители Б.Е. Большаков, О.Л. Кузнецов) устойчивое развитие страны (общества) - это хроноцелостный процесс сохранения неубывающих темпов роста производимой страной полезной мощности при неувеличении темпов потребляемой мощности, сокращения потерь мощности за счет воспроизводимых прорывных технологий и повышения качества управления на всех уровнях [4, 5].

Очевидно, что в основе развития любых соционатурных систем находятся источники энергии, связанные с геофизическими процессами на планете Земля. Приводимые в таблице данные о возобновляемых и невозобновляемых энергетических ресурсах Земли наглядно демонстрируют ориентировочный баланс энергии, получаемой от разных

¹ Геофизика охватывает такие разделы физики, как электромагнетизм, упругие волны, гравитационные и магнитные взаимодействия, процессы переноса тепловой энергии и ионизирующих излучений.

источников. Для сравнения можно указать, что в настоящее время человечество производит $1.1 \cdot 10^{20}$ Дж энергии.

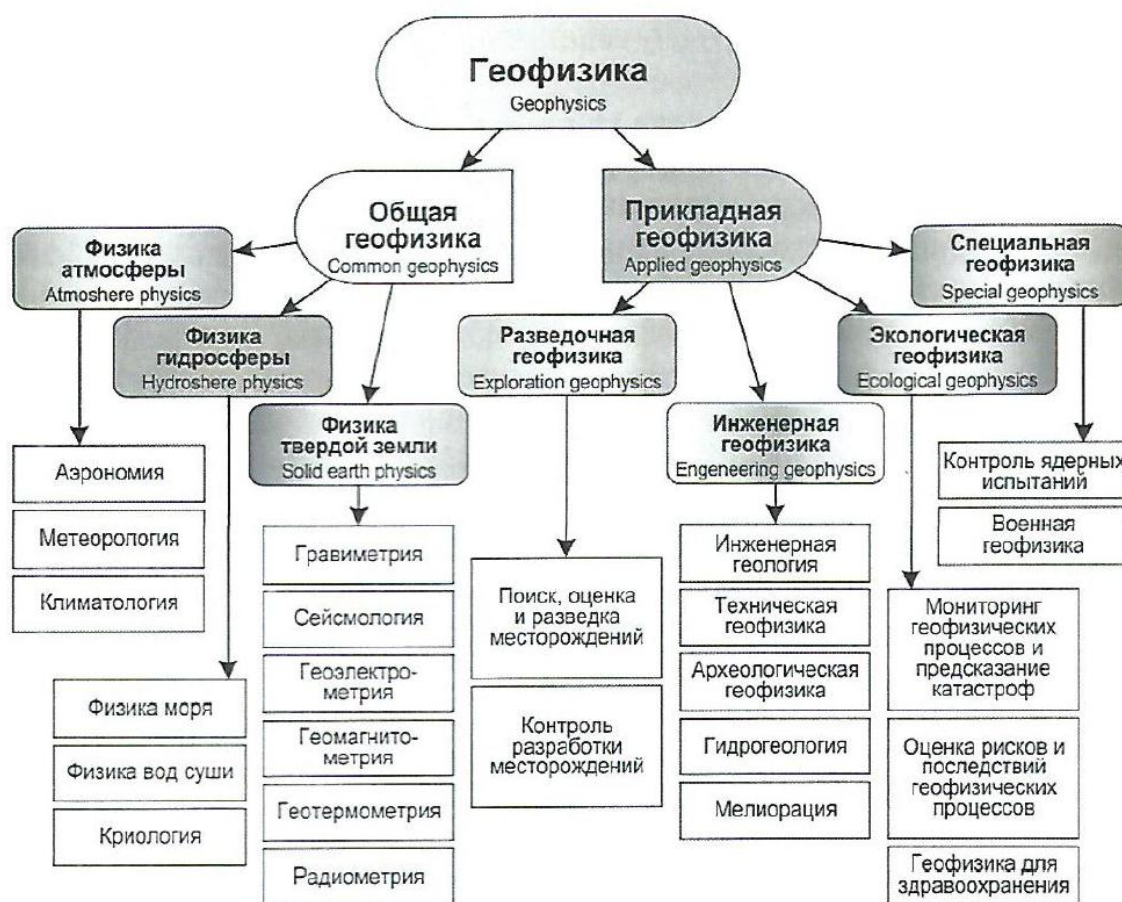


Рис. 1. Геофизика и связанные с ней науки (по [3])

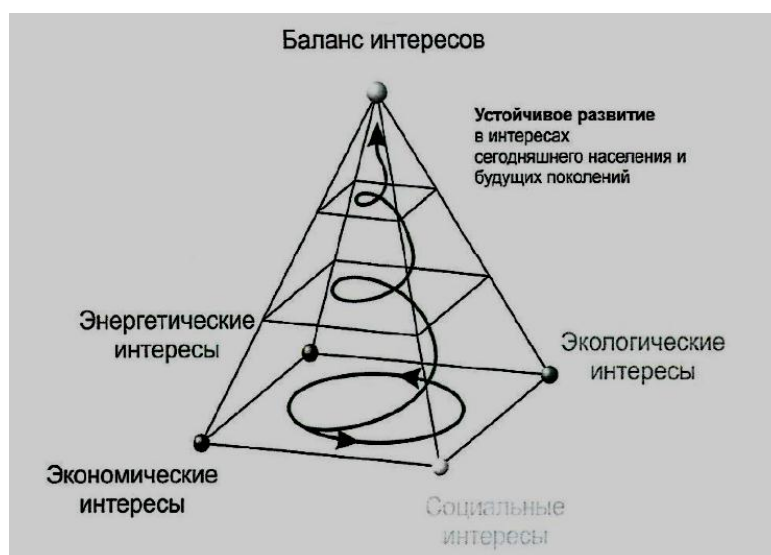


Рис. 2. Структура современного понимания устойчивого развития

Таблица 1. Ориентировочный баланс энергии Земли по отдельным видам ее источников

Вид энергии	Общие запасы, Дж
Невозобновляемые ресурсы	
Термоядерная энергия	$3.60 \cdot 10^{26}$
Энергия ядерного деления	$1.98 \cdot 10^{24}$
Химическая энергия ископаемых органических ресурсов	$1.98 \cdot 10^{23}$
Внутреннее тепло Земли	$4.82 \cdot 10^{20}$
Возобновляемые ресурсы	
Энергия морских приливов	$25.2 \cdot 10^{22}$
Энергия падающих на Землю солнечных лучей	$20.8 \cdot 10^{23}$
Энергия солнечных лучей, аккумулирующаяся в верхних слоях атмосферы в виде атомарных кислорода и азота	$0.43 \cdot 10^{17}$
Энергия ветра	$6.12 \cdot 10^{21}$
Энергия рек	$6.48 \cdot 10^{13}$

Главная проблема развития - это проблема создания условий для неуклонного повышения величины свободной мощности системы "природа-общество- человек" и уменьшения мощности потерь [5].

Что связывает сегодня проблемы развития геофизики XXI в. и проблемы реализации стратегии устойчивого развития

Геофизической науке, как и науке устойчивого развития, необходима новая философия. Как показано в [4], эта философия опирается на три современных языка - язык пространственно-временных величин (*LT*-язык) [5]; язык синергетики [6], описывающий закономерности самоорганизации открытых нелинейных систем, каковыми являются и планета Земля в целом, и система "природа-общество-человек" [7]; язык термодинамики обратимых и необратимых процессов [8, 9], с помощью которого можно на феноменологическом уровне описать преобразования и взаимодействия процессов, протекающих в оболочках Земли (в геосфере, биосфере, социосфере) [10].

Схематически процессы самоорганизации геологической материи, приводящие к перемещению литосферных плит, показаны на рис. 3. Процессы самоорганизации в Мировом океане вызваны наличием конвективного переноса энергии и массы (рис. 4).

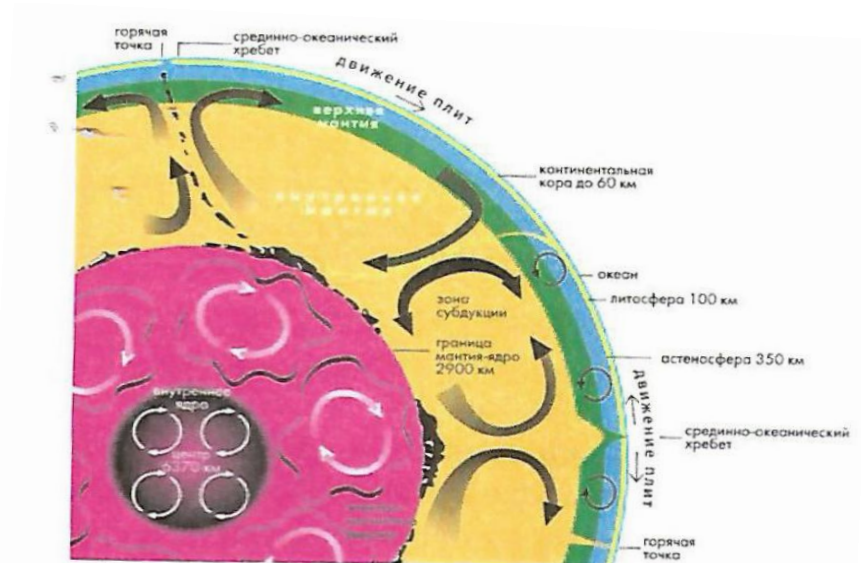


Рис. 3. Самоорганизация внутренних слоев Земли в виде разномасштабных конвективных течений [11]

В работах международной научной школы устойчивого развития университета "Дубна" [5] показано, что процессы самоорганизации биосферы в координатах Р (свободная мощность биосферы) и Т (время эволюции) подчиняются закономерности циклического возрастания свободной мощности и сокращения периода цикла (рис. 5). Анализ циклического развития в течение миллиардов лет на планете Земля показывает ускорение по количеству и мощности гео- и социальных катастроф.

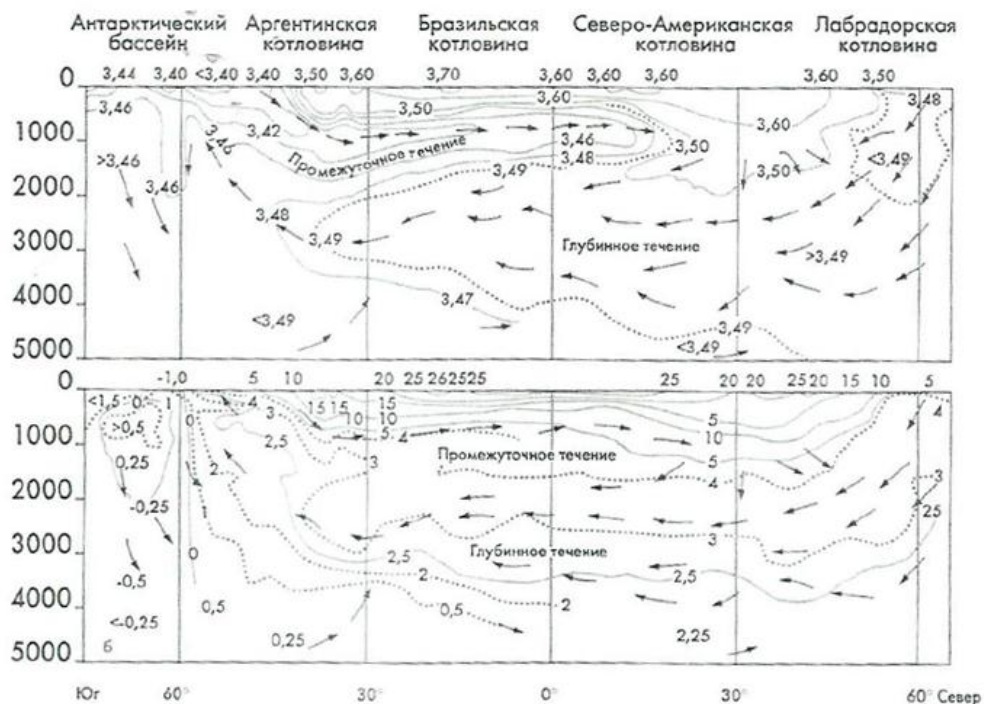


Рис. 4. Широтный разрез глубинных плотностных течений в Атлантическом океане, обусловленных разницей солености (а) и разницей температуры (б) [12]



Рис. 5. Развитие в результате самоорганизации биосферы как ускоряющийся волновой процесс

Геофизика является базовой наукой для прогноза сценариев будущего развития глобальных, региональных и локальных социоприродных систем, включая оценку периодичности и мощности будущих геокатастроф - землетрясений, извержений, цунами, ураганов, торнадо и др. Без учета названных сценариев невозможно создание реалистичной стратегии устойчивого развития для мира в целом и для отдельных регионов и стран.

Что уже сегодня способна сделать геофизика для перехода мировой экономики на путь стратегии устойчивого развития

С учетом профессиональных интересов автора и ограниченного объема статьи определим позиции, которые современная геофизика в состоянии обеспечить для перехода мировой экономики на путь стратегии устойчивого развития, и кратко рассмотрим возможности использования для достижения поставленных целей тех или иных геофизических технологий.

Современная геофизика сегодня в состоянии:

- обеспечить минимизацию всех видов ресурсов (финансы, энергетические затраты, время) для создания ресурсной базы топливно-энергетического и горно-рудного комплексов;
- содействовать открытию новых источников энергии (сланцевые нефть и газ, гидратный газ и др.);
- обеспечить достоверную оценку рисков осуществления любых видов деятельности по освоению подземного пространства:

- обеспечить высокий уровень безопасности и экологического комфорта при создании любых линейных сооружений (магистраль, трубопроводы и др.);
- участвовать в роли "базового элемента" в создании и реализации глобальной энергоэкологической стратегии.

Названные цели в значительной мере могут быть достигнуты благодаря использованию современных волновых (сейсмоакустических) технологий изучения земной коры для прогноза, поиска, разведки и разработки месторождений углеводородного сырья, а также мониторинга разнообразных (природных и техногенных) процессов, имеющих стратегическое значение для социально-экономического развития страны.

Современные российские сейсмоакустические технологии дают возможность проведения инструментального изучения Земли в широкой полосе частот (10^0 - 10^6 Гц) и интенсивности (мощности) сигналов (10^{-2} - 10^2 Вт). Отметим, что указанные диапазоны частот и интенсивностей позволяют использовать сейсмические и акустические волны как для диагностики массивов горных пород, так и для управления их свойствами.

Еще в 80-е годы прошлого столетия в СССР и США на глобальном и региональном уровнях проводились глубинные сейсмические зондирования Земли с использованием мощных взрывов и специальных вибраторов. Данные зондирований в совокупности с результатами геофизических исследований глубоких и сверхглубоких скважин позволили получить новую информацию о строении и физических свойствах кристаллических щитов и осадочных бассейнов на гигантских территориях до глубин 100 км и более.

Рассматривая направления использования современных волновых технологий на глобальном уровне, нельзя не остановиться на проекте "Землескоп" (*Earth-Scope*), осуществляемом сегодня учеными США, о котором в статье "Как прощупать пульс Планеты?" [13] сказано следующее: "Землескоп" - огромный, континентального масштаба проект с тысячами сенсоров, помогающий ученым наблюдать за миром, скрытым под нашими ногами" (рис. 6). Будучи крупнейшим в современной геофизике, проект охватывает почти 10 млн. кв. км, его стоимость - порядка 200 млн. долларов. По своей научной и практической значимости "Землескоп" соизмерим с Большим адронным коллайдером. Именно в рамках этого проекта на самом протяженном и активном тектоническом разломе Сан-Андреас была реализована идея по предотвращению (профилактике) крупных землетрясений, основанная на закачке воды по скважинам в очаги аномального напряжения геологической среды. Надо заметить, что идея подобной профилактики землетрясений и способ ее реализации были предложены в 70-е годы прошлого столетия учеными института Физики Земли АН СССР.



Рис. 6. Схема расположения станций проекта

Инструментальное изучение напряженно-деформированного состояния горных пород для решения задач фундаментальной геологии и геологоразведки осуществлялось советскими геофизиками с 80-х годов прошлого века [14, 15]. Благодаря этим исследованиям в уникальной сверхглубокой Кольской скважине (СГ-3) по геофизическим данным были обнаружены субгоризонтальные зоны с открытой микротрещиноватостью на глубине более 10 км. На этих глубинах впервые была установлена природа субгоризонтальных сейсмических границ в древнейшем кристаллическом щите [16]. Кроме того, при изучении напряженного состояния около-скважинного пространства были выделены кольцеобразные зоны уплотнения, способные защищать ствол скважины от разрушения, что позволило пробурить скважину СГ-3 до рекордной глубины 12 261 м от устья до забоя в режиме открытого ствола без обсадки железными трубами. Этот рекорд глубины бурения, занесенный в книгу рекордов Гиннеса, не превзойден до настоящего времени.

В начале 1990-х годов российские геофизики разработали серию инновационных геофизических технологий, необходимых для оптимизации геологоразведочного процесса (ГРП) на нефть и газ на стадиях поиска, разведки и контроля за разработкой месторождений углеводородного сырья.

Научной школой нефтегазовой сейсмоакустики проф. О.Л. Кузнецова была создана уникальная технология "Сейсмический локатор бокового обзора" (СЛБО) для изучения пространственного (3D) и пространственно-временного (4D) распределения открытой трещиноватости в геологической среде" [17, 18]. Для изучения трещиноватости в названной технологии используются не зеркально отраженные волны, как в стандартной сейморазведке, а рассеянно отраженные; для выделения и позиционирования объектов

применяется фокусирующий сканирующий обзор геологического пространства с помощью активного сейсмического локатора. Интерпретация результатов наблюдения и обработка осуществляются на основе моделей напряженно-деформированного состояния геологической среды. Принципиальная схема СЛБО и пример результатов обработки в виде 3Б-поля трещиноватости представлены на рис. 7.

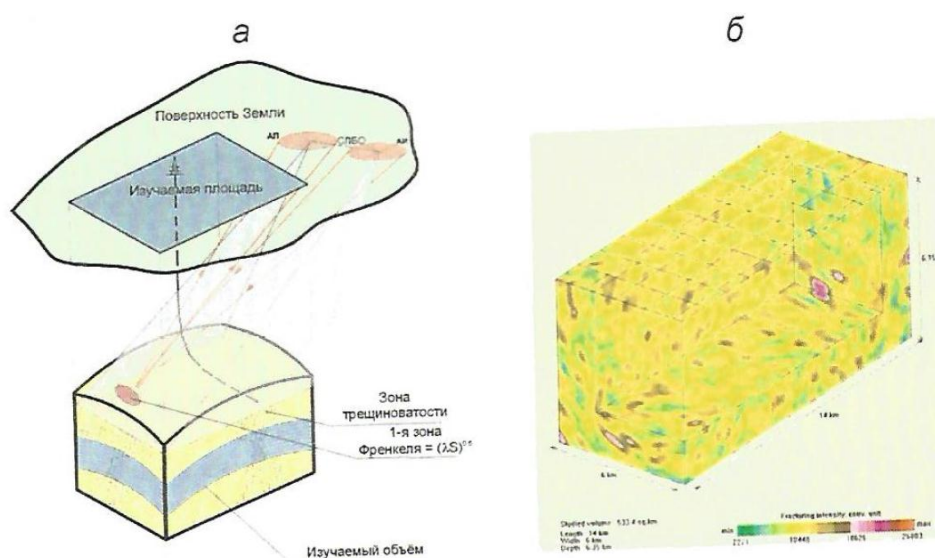


Рис. 7. Принципиальная схема СЛБО (а) и пример 3D-распределения трещиноватости результатам обработки рассеянных волн (б)

Результаты экспериментальных исследований 4D-поля трещиноватости (по технологии СЛБО) позволили установить ряд закономерностей, среди которых выделим три главных.

Пространственно-временное распределение интенсивности открытой трещиноватости меняется повсеместно и постоянно [18, 19]. Один из основных геодинамических факторов, определяющих это изменение, - твердотельные лунно-солнечные приливы в литосфере. Пример пространственно-временного изменения открытой трещиноватости, полученной по данным СЛБО-мониторинга на одной из площадей месторождения Западной Сибири, приведен на рис. 8. Трещиноватость в период прилива (Луна в зените) в целом уменьшается, а в период отлива (Луна в надире) - увеличивается, создавая эффект "дыхания" литосферы с частотой лунных суток. Отметим, что идея "газового дыхания Земли" впервые была высказана выдающимся ученым, академиком В.И. Вернадским [20].

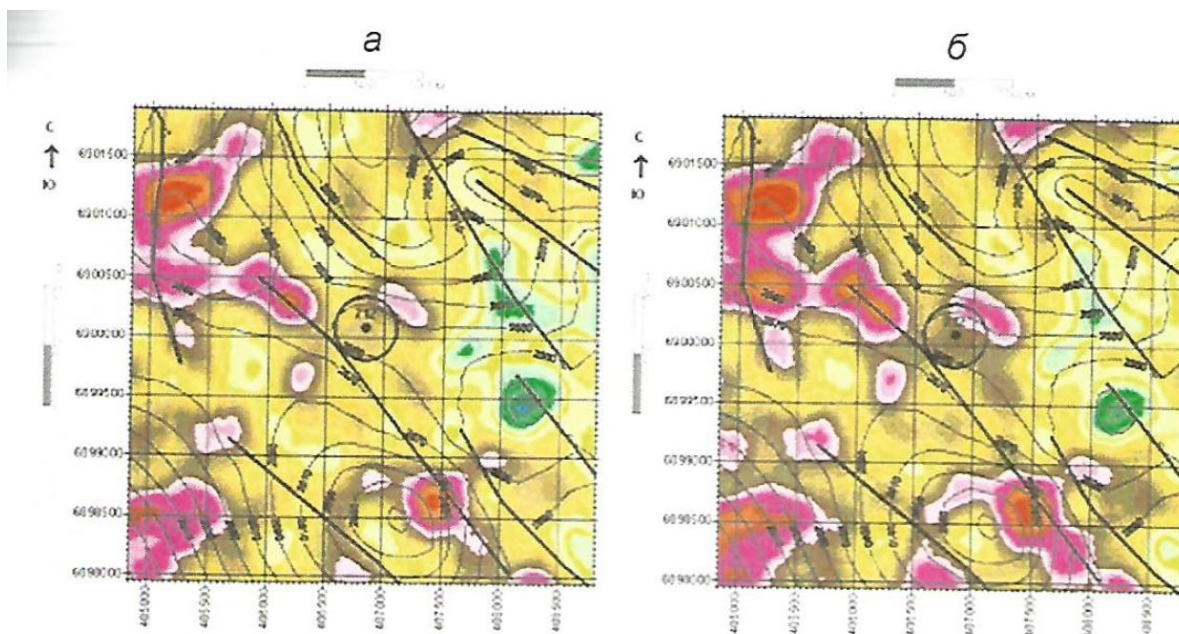


Рис. 8. Горизонтальные срезы поля открытой трещиноватости на глубине $H = 2550$ м во время лунно-солнечного прилива (а) и отлива (б): Рогожниковское месторождение, Тюменская область

В геологической среде повсеместно с разной последовательностью присутствуют субвертикальные зоны интенсивной открытой трещиноватости (рис. 9), которые являются каналами активного массоперетока флюида и энергообмена (в основном, температуры и давления) [18]. В сочетании с упомянутым выше эффектом "дыхания" данные зоны создают своеобразные "геодинамические насосы", осуществляющие подпитку залежей углеводородов. Этот факт подтверждается высокими и максимальными притоками углеводородов, осложнениями бурения и наличием зон аномально высокого пластового давления в скважинах, находящихся в пределах данных зон и их окрестностях.

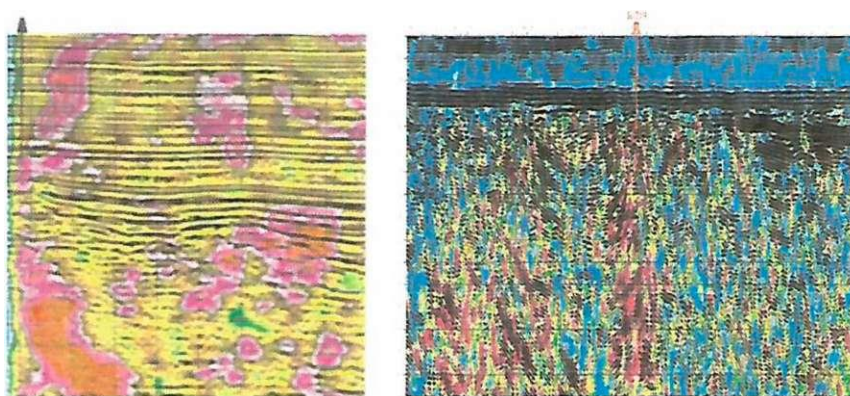


Рис. 9. Вертикальные разрезы поля открытой трещиноватости на Северо-Демьянском месторождении в Западной Сибири (а) и Курумбинском в Восточной Сибири (б)

СЛБО-мониторинг техногенных воздействий на пласт (гидроразрыва, закачки воды и газа, виброволнового воздействия и т.п.) показал, что искусственная трещиноватость продолжает развиваться в течение длительного времени (до нескольких месяцев) после

прекращения воздействия [19]. При этом формируется зона трещиноватости, значительно большая (на порядок и более) по площади, чем в процессе воздействия. Таким образом, с помощью техногенных воздействий (не только из скважин, но и с поверхности) можно эффективно управлять пространственным распределением трещиноватости с целью более полного извлечения углеводородов из залежи. При этом, используя волновое воздействие, можно осуществлять разрядку очагов напряженного состояния геосреды - будущих очагов землетрясений (т.е. проводить профилактику землетрясений на разрабатываемых месторождениях).

Установленные закономерности пространственно-временного распределения открытой трещиноватости в геологической среде исключительно актуальны в настоящее время, что связано с начавшейся в западных странах "сланцевой революцией". Именно "революцией", если учесть, что в Техасе за 2,5 года добыча нефти увеличилась вдвое только за счет разработки сланцевого коллектора - это беспрецедентный случай в истории старых нефтедобывающих районов. Поэтому в настоящий переходный период сейсморазведка обязана ориентироваться не только на изучение слоистого строения среды на основе зеркально отраженных волн, но и на изучении ее открытой трещиноватости с помощью рассеянно отраженных волн.

На стадии поисково-разведочных работ информация о трещиноватости необходима, в основном, для снижения затрат на бурение скважин с нерентабельным притоком углеводородов (даже при интенсивном воздействии) и для прогноза аварийных ситуаций в процессе бурения. Далее при разработке месторождений необходимы мониторинг латерального изменения поля трещиноватости и управление этим полем с целью более полного извлечения запасов при высоком темпе отбора углеводородов и минимизации геоэкологического и технологического рисков на работающих промыслах.

Другое принципиально новое направление развития сейсморазведки связано с тем, что в начале нового тысячелетия в России, США, Германии, Великобритании отмечен пик интереса к прослушиванию микросейсмических событий, возникающих в пористых и трещиноватых горных породах, насыщенных нефтью, газом, водой, - геофизики поняли, что Земля "разговаривает" с ними на своем языке.

Российскими геофизиками был обнаружен эффект возникновения на поверхности Земли инфразвукового сигнала, различного для случаев проведения наблюдений над залежью углеводородов или над водоносным пластом [21]. На этой основе в ходе последующих исследований И.А. Чиркиным и его единомышленниками была создана уникальная технология сейсмолокации очагов эмиссии (СЛОЭ) [18, 22], в которой идея

выделения и позиционирования волн микросейсмической эмиссии (МСЭ) реализована в схеме пассивного сейсмического локатора и алгоритмах обработки информации в режимах реального времени. Поскольку волны МСЭ доминантно зависят от напряженного состояния, физико-механических свойств и типа флюидонасыщения горных пород, то технология СЛОЭ может быть успешно применена как для решения различных поисково-разведочных задач, так и при разработке месторождений.

Например, на поисково-разведочной стадии по данным СЛОЭ-мониторинга возможно получение информации о нефтесодержании массивов горных пород в исследуемом объеме геологической среды. Такая информация, безусловно, повышает эффективность поиска нефтяных залежей структурного и неструктурного типов. В последнем случае это особенно актуально для обнаружения нефти в глинистых сланцах. Пример полученного в 2013 г. совместно российскими и американскими геофизиками куба нефтесодержания для площади порядка 14 кв. км в интервале глубин от 2700 до 3300 м на месторождении в штате Техас (США) показан на рис. 10.

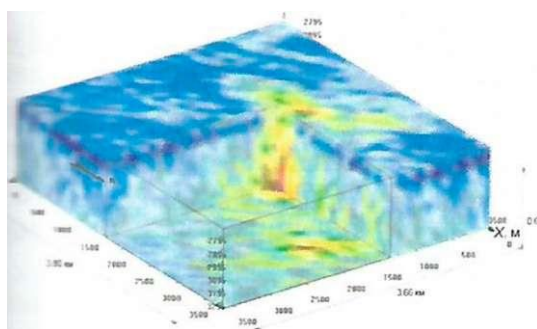


Рис. 10. Пример 3D-поля распределения параметров энергии микросейсмической эмиссии по данным СЛОЭ-мониторинга: а - среднее значение процесса МСЭ; б - коэффициент автокорреляции

Применение СЛОЭ-мониторинга на стадии разработки месторождений является новым направлением сейсмических исследований. В отличие от стандартной сейсморазведки, применяемой на региональной, поисковой и разведочной стадиях геолого-разведочных работ, это направление может быть названо нефтегазопромысловой сейсмометрией. К новым задачам, решаемым СЛОЭ на стадии разработки, в первую очередь, следует отнести непрерывный и неограниченный во времени мониторинг месторождения в реальном времени, в процессе которого осуществляется:

- контроль эффективности выполнения геолого-технологических мероприятий (ГТМ),
- изменение флюидной структуры залежей и конфигурации фронта вытеснения нефти водой,

- перераспределение трещиноватости и формирование новых каналов флюидопотоков и др.

Информация, получаемая в реальном времени, безусловно, существенно повышает эффективность управления разработкой и проведением геолого-технологических мероприятий в нужном месте в нужное время с оптимальными параметрами [23, 24]. Отметим, что СЛОЭ-мониторинг на разрабатываемом месторождении в будущем станет одним из основных элементов "умного месторождения" и позволит повысить коэффициент извлечения нефти (КИН) на первые десятки процентов при увеличении темпа отбора нефти. Такое увеличение равносильно открытию и вводу в разработку нового месторождения с уже готовой инфраструктурой.

Для решения этих задач на истощенных месторождениях, а также с низкопоровым или сланцевым коллектором важен выбор оптимальных геолого-технологических мероприятий, к которым, в первую очередь, следует отнести российские сейсмоакустические технологии управляемого волнового воздействия на продуктивные пласты с целью повышения дебитов добывающих скважин и увеличения КИН. Именно на основе этих технологий при длительном воздействии возможно формирование зон трещиноватости - суперколлекторов или основных каналов флюидопотоков в заданном направлении для случая сланцевого коллектора, когда другие методы воздействия (закачка воды и газа) оказываются неэффективными.

Таким образом, общий вывод сводится к тому, что применение рассмотренных технологий в России и в мире может коренным образом повысить эффективность топливно-энергетического комплекса, снизить расход всех видов ресурсов, минимизировать экологические ущербы и обеспечить устойчивое развитие энергетического сектора экономики.

Литература

1. Кузнецов О.Л., Большаков Б.Е. Русский космизм, глобальный кризис и устойчивое развитие // Вестник РАЕН. 2013. Т. 13. №1. — С. 3-21.
2. Пан Ги Мун. Жизнеспособная планета жизнеспособных людей: будущее, которое мы выбираем // Представление доклада делегатам 66-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН, 16.03.2012. URL: <http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/66/700> (дата обращения: 05.02.2014).
3. Кузнецов О.Л., Каляшин С.В. Введение в геофизику. — М.: РАЕН, 2011. — 273 с.
4. Кузнецов О.Л. Система природа - общество - человек: философия развития через взаимодействия. — М.: РАЕН, 2010. — 239 с.

5. Кузнецов О.Л., Большаков Б.Е. Устойчивое развитие. Научные основы проектирования в системе природа - общество - человек. — М.: Гуманистика, 2002. — 615 с.
6. Хакен Г. Синергетика. — М.: Мир, 1980. — 406 с.
7. Моисеев Н.Н. Универсум, информация, общество. — М.: Устойчивый мир, 2001. — 200 с.
8. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. — М.: Прогресс, 1986. — 432 с.
9. Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. Основы термодинамики экологических систем. — М.: ГНЦ ВНИИГеосистем, 2005. — 96 с.
10. Kuznetsov O.L., Simkin E.M. Transformation and interaction of geophysical fields in the lithosphere. — Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., 1994. — 271 p.
11. Пауэлл К.С. Вглядываясь вглубь // В мире науки. 1991. № 8. — С.68-79.
12. Wilst G. Uber Stromgeschwindigkeiten und Strommengen in der Atlanischen Tiefsee // Geologische Rundschau. 1958. V. 47. — P. 187-195.
13. Берн Х. Как прощупать пульс планеты // Наука в фокусе. 2013. № 10. — С.59-63.
14. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. — М.: Недра, 1975. — 536 с.
15. Карус Е.В., Кузнецов О.Л., Петухов А.К., Чахмахчев В.Г., Зорькин Е.В., Полшков М.К., Киричек М.А., Сидоренко А.В., Сидоренко С.А., Рогоцкий Г.В., Белоликов Н.И., Чиркин И.А. Явление парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биогеохимических полей в осадочном чехле земной коры // Открытия в СССР, 1980. — М.: ВНИИПИ, 1981. — С. 34-37.
16. Кольская сверхглубокая / Под ред. Е.А. Козловского. — М.: Недра, 1984. — 490 с.
17. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Курьянов Ю.А., Рогоцкий Г.В., Дыбленко В.П. Сейсмоакустика пористых и трещиноватых сред. Экспериментальные исследования. — М.: ВНИИГеосистем, 2004. — 362 с.
18. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Курьянов Ю.А., Шленкин С.И., Арутюнов С.Л., Дыбленко В.П., Рогоцкий Г.В. Сейсмоакустика пористых и трещиноватых сред. Новые технологии и решение прикладных задач. — М.: ООО "Центр информационных технологий в природопользовании", 2007. — 434 с.
19. Курьянов Ю.А., Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Джафаров И.Р. Исследование техногенной трещиноватости, возникающей после гидроразрыва пласта. — М.: ВНИИГеосистем, 2001. — 69 с.

20. Вернадский В.И. О газовом обмене земной коры // Известия императорской академии наук. 1912. №2. — С. 141-162.
21. Арутюнов СЛ., Кузнецов О.Л., Востров Н.Н., Дворников В.В., Карнаухов С.М., Графов Б.М., Сиротинский Ю.В., Сунцов А.Е. Технологии АНЧАР 10 лет // Технологии сейсморазведки. 2004. № 2. — С. 127-131.
22. Кузнецов О.Л., Дыбленко В.П., Чиркин И.А., Шарифуллин Р.Я., Волков А.В. Особенности аккумуляции энергии механических напряжений и аномальное сейсмоакустическое излучение в нефтеносных породах // Геофизика. 2007. № 6. — С. 8-15.
23. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Фирсов В.П. Сейсмический мониторинг как инструмент повышения эффективности разработки нефтяных месторождений // Технологии ТЭК. 2006. № 6. — С. 12-19.
24. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Фирсов В.П. Использование сейсмического мониторинга для повышения эффективности разработки нефтяных месторождений // Технологии ТЭК. 2006. № 8. — С. 22-29.