

Возможности и перспективы применения несейсмических методов для поисков скоплений углеводородов и геосолитонная концепция их образования

© **В. М. Мегеря¹, В. Г. Филатов², В. И. Старостенко³,
И. Н. Корчагин³, А. М. Лобанов², Ю. В. Гласко⁴,
М. Ю. Волоцков², С. А. Скачков², 2012**

¹ ЗАО "ГЕОТЕК Холдинг", Москва, Россия

² Российский государственный геологоразведочный университет,
Москва, Россия

³ Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

⁴ Научно-исследовательский вычислительный центр
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,
Москва, Россия

Поступила 1 марта 2012 г.

Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым

Геосолитонна концепція утворення родовищ вуглеводнів (ВВ) дає змогу розробити ефективні методи проведення комплексних геофізичних робіт, які здатні забезпечити успішні пошуки і розвідку складнопобудованих покладів нафти і газу, що контролюються геосолитонним механізмом дегазації Землі. Головні ознаки родовищ ВВ у межах цієї концепції — геосолитонні трубки та вихровий характер фізичних полів, що виявляється в матеріалах сейсморозвідки, електророзвідки МТЗ, у гравітаційних та магнітних полях. Для розв'язання некоректних задач геофізики (граві-, магнітометрії, електророзвідки) внаслідок обмежених виборок застосовують стійкі методи обробки та інтерпретації на основі регуляризації, оптимальної фільтрації та інтропродовження геополей у площовому варіанті. Найзагальнішим і найперспективнішим підходом теорії інтерпретації геопотенціальних полів є напрям еквівалентних перерозподілів: вимітання мас, за Пуанкаре, із області на межу, яке реалізував А. В. Овчаренко; вимітання з області в область: набухання, за В. С. Лі; концентрація мас-джерел, за Д. Зідаровим і В. Г. Філатовим, у двовимірній та тривимірній постановці Ю. В. Гласка. Концепція геосолитонної дегазації Землі пройшла практичну апробацію в Західному Сибіру. Методика проведення комплексних геофізичних досліджень, яка розроблена на основі зазначеної концепції, підвищила ефективність пошуків і розвідки родовищ нафти і газу.

Geosolitic concept of hydrocarbon deposits formation allows to elaborate efficient methods of conducting complex geophysical studies capable to guarantee successful prospecting and exploration of oil and gas deposits with complex structure, controlled by geosolitic mechanism of the Earth degassing. The main showings of HC deposits within the limits of this concept are geosolitic pipes and vortical character of physical fields displayed in the materials of seismic exploration, electrical survey, MTS, in gravity and magnetic fields. For solving non-correct problems of geophysics (gravimetry, magnetometry, electrical survey) because of their limited selections robust methods of processing and interpretation are applied based on regulation, optimal filtration and introcontinuation of geo-fields in the area variant. The most general and promising approach of the theory of geopotential fields interpretation is the direction of equivalent redistributions: sweeping-out of masses, according to Poincarree from the area abroad, realized by A. V. Ovcharenko, sweeping-out from the area to area, swelling, according to V. S. Lee and concentration of masses-sources according to D. Zidarov and V. G. Filatov in two-dimensional and three-dimensional statement of Yu. V. Glasko. The concept of geosolitic degassing of the Earth has been practically tested in the West Siberia. The method of conducting complex geophysical studies elaborated on its base improved the effectiveness of prospecting and exploration of oil and gas deposits.

Введение. В настоящее время многими представителями научного сообщества, нефтяных и газовых компаний, а также сервисных организаций геофизического профиля признается исключительно важной и актуальной проблема интенсификации, ускорения и оптимизации геологоразведочного процесса поисков и разведки месторождений и отдельных залежей углеводородов (УВ) различного типа. Это обусловлено, в первую очередь, исчерпанностью крупных и средних структур (ловушек структурного типа), необходимостью поисков и разведки малоразмерных и слабоконтрастных (перспективных) объектов и освоения больших глубин, проведения поисковых работ в удаленных и труднодоступных регионах мира (арктический и антарктический шельфы, глубоководные области Мирового океана) [Карасевич и др., 2010].

В существенной степени, по мнению авторов, содействовать решению этой проблемы может более активное и целенаправленное применение геофизических методов (технологий), максимальным образом учитывающих новые концепции (теории) образования УВ, и их роль в выборе направлений поисковых работ. Дело в том, что изучение и анализ основных проблем и вопросов, связанных с дегазацией Земли, свидетельствует об огромных масштабах этих процессов. В связи с этим многие исследователи считают, что сегодня, учитывая масштабы дегазации, уже нельзя изучать генезис и вести поиск залежей нефти и газа без учета возможного абиогенного синтеза УВ. Анализ путей миграции глубинных флюидов, зон разгрузки глубинной энергии предоставляет новые возможности для разработки эффективных стратегий поиска залежей нефти и газа и позволяет нестандартно подойти к оценке запасов углеводородного сырья.

Достаточно полно и обосновано физические процессы и явления, связанные с дегазацией Земли, находят объяснение в геосолитонной концепции дегазации водорода и образования месторождений УВ [Бембель и др., 2003; Мегеря, 2009; Мегеря и др., 2011 а, б]. Геосолитонная концепция нефтегазообразования прошла апробацию на материалах Западной Сибири. Результаты апробации позволили авторам концепции [Бембель и др., 2003; Мегеря, 2009] констатировать, что а) традиционные методы поисков и разведки, ориентированные на достаточно крупные залежи УВ, малоэффективны для разведки малоразмерных залежей; б) только результаты высокоразре-

шающей 3D сейсморазведки могут гарантировать успешное попадание разведочных и эксплуатационных скважин в малоразмерные залежи УВ, которые контролируются отдельными субвертикальными зонами деструкции (СЗД). Ниже описываются основные положения геосолитонной концепции образования нефти и газа и анализируется оптимальный комплекс геофизических (несейсмических) методов поисков и разведки скоплений УВ с учетом главных особенностей этой концепции.

Основные особенности и принципы геосолитонной концепции нефтегазообразования. Традиционная концепция нефтегазовой геологии и соответствующие геофизические технологии и методики поиска полезных ископаемых ориентированы в основном на крупные по площади размеры структурных и неструктурных залежей в верхней части осадочных комплексов. Такие приоритеты вытекают из основного тезиса биоорганической гипотезы происхождения УВ: чем больше площадь и объем осадочных пород, тем больше следует ожидать извлекаемых запасов. Однако анализ материалов о 27-ми самых крупных в мире месторождениях нефти и газа показал, что парный коэффициент корреляции между количеством запасов УВ и площадью месторождений равняется нулю [Нестеров и др., 1975]. Этот факт потребовал разработки новых геологических концепций, способных объяснить эту закономерность. Более того, переход к новой геологической парадигме является одной из самых актуальных проблем современной нефтегазовой отрасли в связи с объективной необходимостью существенно улучшить геолого-экономическую эффективность геофизических работ при поиске, разведке и освоении месторождений нефти и газа. Не секрет, что освоение малых по площади, но больших по объемом запасам и сложно построенных залежей в трещинно-кавернозных коллекторах в осадочных, метаморфизованных, вулканогенных и изверженных комплексах представляет один из главных резервов будущего устойчивого и долговременного обеспечения (практически неисчерпаемого в силу возобновляемости) энергетическими и химическими ресурсами во многих регионах мира.

В предложенной концепции дегазации Земли геосолитонами принято считать солитоны и солитоноподобные образования геодинамического поля Земли, которые зарождаются в ядре, выходят из глубинных геосфер планеты, пересекая при этом литосферу, гидросфе-

ру и атмосферу, и уходят в космос. Энциклопедическое определение солитона — "частицеподобная, структурно-устойчивая волна". Выход геосолитона из Земли — это сконцентрированный во времени и пространстве вихревой энергомассоперенос вещества и энергии. В рамках концепции развивается теория геосолитонных процессов и явлений, охватывающих в единую систему поверхностные и глубинные геосферы Земли.

Геосолитонная концепция-гипотеза образования месторождений УВ позволила выработать методические принципы и практические рекомендации по проведению комплексных геолого-геофизических исследований при поиске, разведке и освоении месторождений нефти и газа. При этом учитывались следующие основные положения.

1. Геосолитонная модель формирования месторождений нефти и газа позволяет объединить принципы и механизмы биоорганической и эндогенной ("неорганической") гипотез образования УВ на базе концепции геосолитонной дегазации Земли.

2. На основе механизмов геосолитонной дегазации построены модели различных типов месторождений нефти и газа: залежей в ловушках антиклинального строения, клиноформных залежей УВ, пластов жильного типа и т. д.

3. Для месторождений нефти и газа геосолитонного генезиса (т. е. образующихся и контролируемых процессами геосолитонной дегазации) установлены специфические информативные поисковые признаки, которые уверенно проявляются в материалах высокоразрешающей объемной сейсморазведки и детальных крупномасштабных съемок гравитационных, магнитных и электромагнитных полей. Это геосолитонные трубки и своды антиклиналей, выделяемые по материалам сейсморазведки, кольцевые аномалии магнитного поля, отрицательные кольцевые аномалии гравитационного поля, субвертикальные зоны повышенной проводимости по материалам электро-разведки.

4. Практическое применение методики комплексных геолого-геофизических исследований при поисках, разведке и освоении сложно построенных месторождений нефти и газа, образующихся, контролируемых и разрушающихся процессами геосолитонной дегазации (высокоразрешающая объемная сейсморазведка, детальные крупномас-

штабные гравиразведка, магниторазведка и электроразведка и их комплексная интерпретация) повышает в целом эффективность геологоразведочного процесса поиска углеводородного сырья на территории Западной и Восточной Сибири.

Проявление признаков геосолитонного энергомассопереноса в геофизических полях. Главными поисковыми признаками месторождений УВ являются геосолитонные трубки (ГТ) и вихревой характер физических полей, которые устойчиво проявляются в материалах сейсмологических наблюдений и сейсморазведки, в данных электроразведки МТЗ, а также в гравитационных и магнитных полях. Это в полной мере иллюстрируется ниже рис. 1—10 из монографии [Мегеря, 2009]. Так, на рис. 1 показан фрагмент временного сейсмического разреза, полученный и обработанный в режиме высокого пространственного разрешения. На подобного рода графических изображениях волнового поля повсеместно наблюдаются узкие ГТ, пересекающие весь разрез, но затухающие в интервалах глубоких горизонтов. На самом деле с увеличением глубины происходит не затухание ГТ, а уменьшение их диаметра, из-за чего поперечные размеры трубок становятся меньше разрешающей способности сейсморазведки и поэтому перестают четко проявляться на временных разрезах.

По методике высокоразрешающей объемной сейсморазведки (ВОС) на одном из участков Приобского нефтяного месторождения (в пойме р. Обь) были получены временные разрезы с очень высоким соотношением сигнал/помеха, превышающем значение 100. На рис. 2

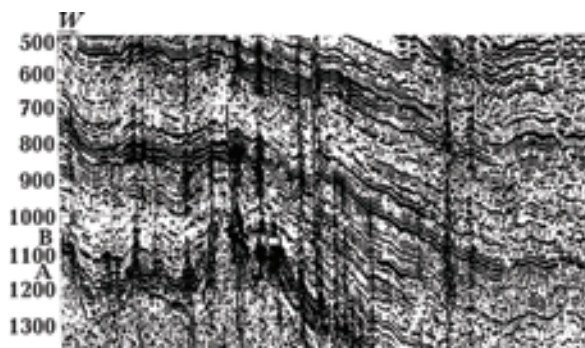


Рис. 1. Временной сейсмический разрез в районе сочленения Урала и Западной Сибири. Четко прослеживаются неогенные трубки, проникающие от фундамента через юрские, меловые и третичные отложения до земной поверхности.

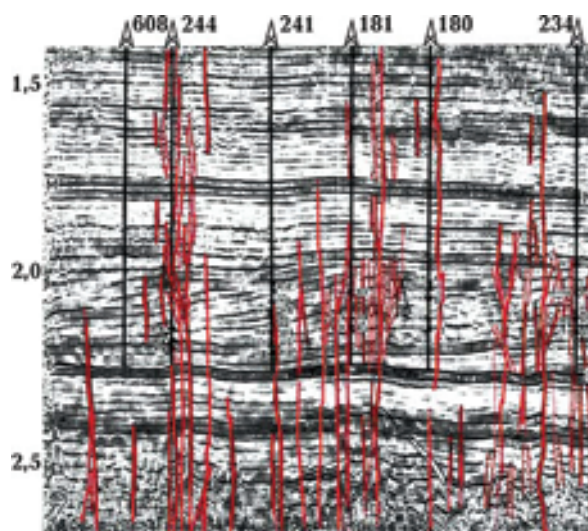


Рис. 2. Сейсмический временной разрез на Приобском месторождении.

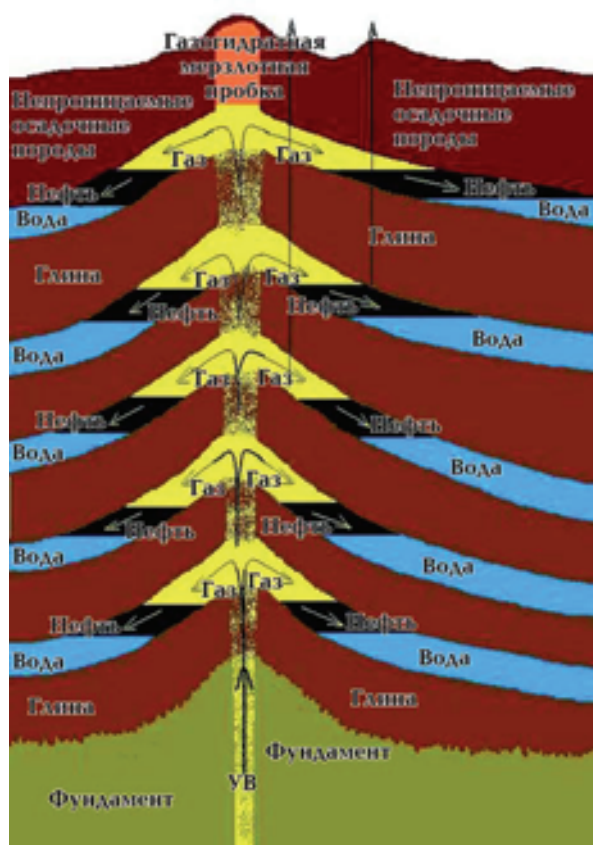


Рис. 3. Геосолитонная модель формирования многопластовых систем залежей углеводородов.

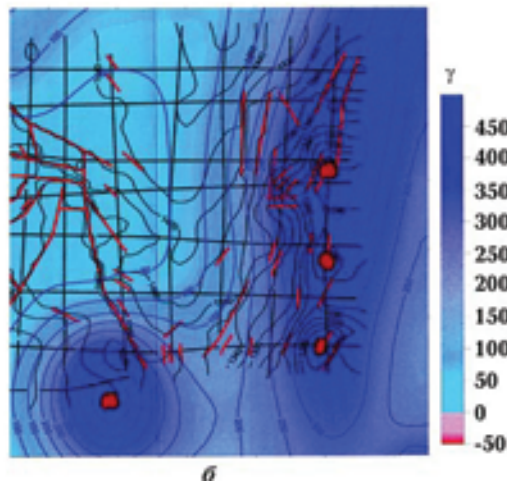
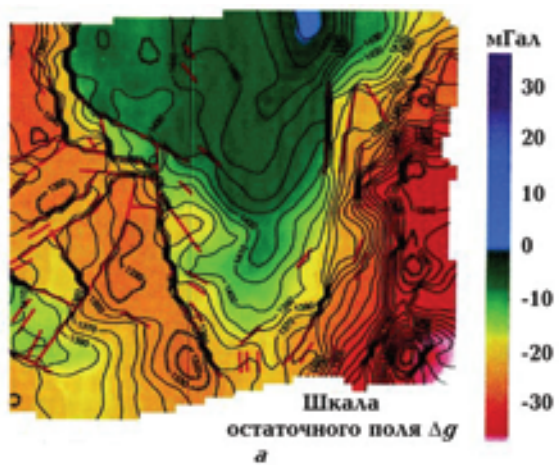


Рис. 5. Карты гравитационного (а) и магнитного (б) полей.

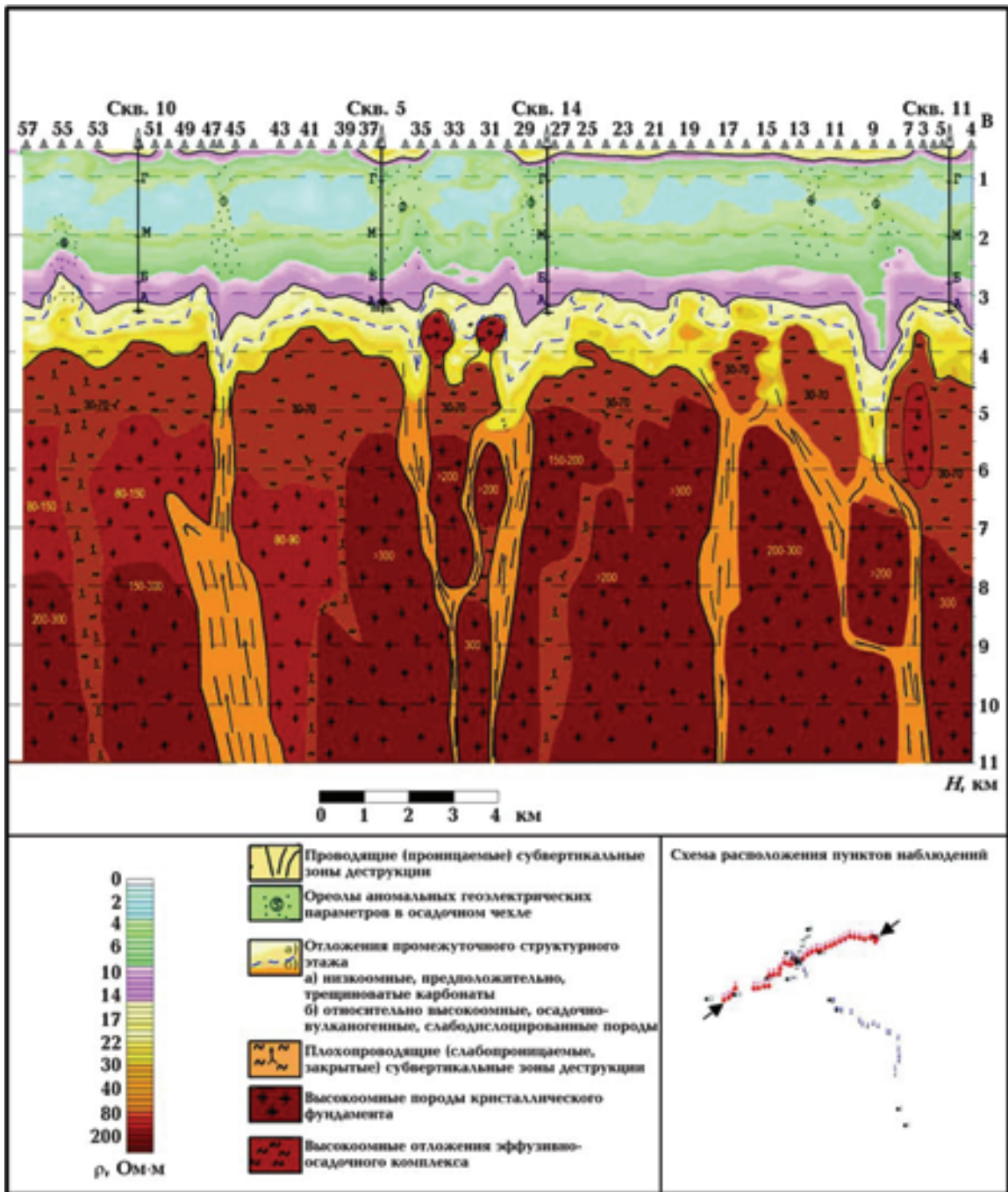


Рис. 7. Геоэлектрический разрез по данным МТЗ (Горелая площадь).

(см. стр. 7) приведен пример такого раз-реза с выделенными красным цветом ГТ.

По гистограмме линейных размеров ГТ установлено, что с уменьшением диаметра ГТ их число растет по гиперболическому закону. Следовательно, общее число ГТ, поперечные размеры которых могут быть даже меньше одного метра, абсолютно превосходит число выявленных ГТ по материалам ВОС, тем более по

материалам стандартных низкочастотных исследований. Поэтому в геосолитонной модели образования нефти и газа переработка органического вещества (ОВ) в целой системе всех геосолитонных каналов является более мощным процессом, чем даже в классических представлениях "органической" теории нефтегазообразования. Обогащение глубинными газами (водородом и метаном) и благоприятная термоди-

намическая обстановка в ГТ существенно интенсифицируют переработку ОВ, после чего в режиме природных нанотехнологий вновь образованные радикалы УВ в молекулярном виде совместно с глубинными газами поступают по всем капиллярным и более мощным ГТ в резервуары коллекторов, где происходит их накопление и окончательное формирование залежей.

На рис. 3 (см. стр. 7) представлена теоретическая модель формирования месторождений нефти и газа в рамках геосолитонной концепции. Активная ГТ находится в центре рисунка и служит каналом для геосолитонного энергопереноса, формирующего положительную структуру и нагнетающего газы компоненты в осевую часть купола этой структуры. Аномально высокое давление газов в куполе приводит к проникновению газов в пронизываемые пласты-коллекторы и к формированию в них системы залежей, состоящих из газовой шапки, нефтяной оторочки и оттесненной на периферию пластовой воды. По капиллярной системе ГТ, пронизывающей по вертикали всю толщу осадочных пород, в окрестности главной ГТ происходит переработка и миграция снизу вверх УВ, которые участвуют в заполнении всей системы залежей. В этой модели формирования месторождений УВ совместно участвуют как глубинные газы неорганического происхождения (водород и метан), так и рассеянные остатки ОВ. В целом геосолитонная модель формирования месторождений нефти и газа представляет собой комплексную концепцию, объединяющую в себе принципы и механизмы биоорганической и эндогенной гипотез на базе концепции дегазации Земли.

На рис. 4 приведен фрагмент сейсмического временного разреза на одной из площадей в Приуральской части Западной Сибири, где четко выделяется ряд очень малоразмерных положительных структур геосолитонного происхождения. Наиболее высокоамплитудная из них находится в западной части этого разреза.

На рис. 5 (см. стр. 7) для этого же участка площади приведено сопоставление структурного плана по отражающему горизонту А с гравитационным полем. В юго-западной части этой карты контрастная отрицательная локальная гравитационная аномалия совпадает с малоразмерной геосолитонной структурой, показанной на временном разрезе (см. рис. 4).

В целом ГТ, в осевых частях которых происходит дилатансионное разуплотнение гор-

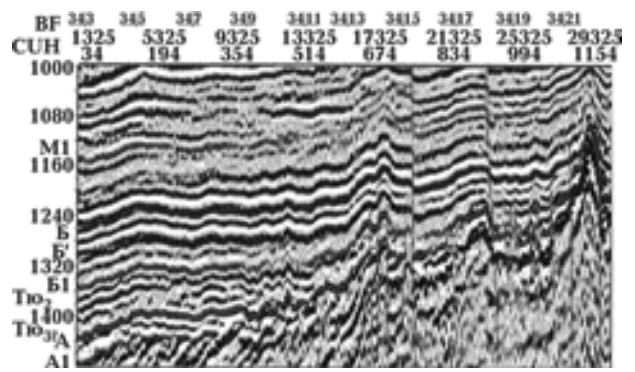


Рис. 4. Сейсморазведочный разрез через аномалии гравитационного и магнитного полей, представленных на рис. 5.

ных пород, сопровождающееся диапиризм, проявляются в форме отрицательных гравитационных аномалий над положительными структурными формами. Эта закономерность четко видна на рис. 5. На этом же рисунке приведена карта магнитного поля, где также зафиксированы малоразмерные отрицательные магнитные аномалии, совпадающие с местом расположения отрицательной гравитационной аномалии и локального сейсмического элемента на сейсмическом разрезе. Другой пример малоразмерной отрицательной магнитной аномалии показан на рис. 6.

Принципиально по новому концепция геосолитонной дегазации Земли позволяет подойти к использованию метода теллурических токов в Земле. Поскольку геосолитонное излучение Земли носит импульсный характер, то в каждой ГТ возможны два режима ее работы — пассивный и активный. Активная ГТ в импульсно-вихревом режиме геосолитонного энергопереноса (излучения) может порождать мощные вихревые электрические токи, а также электромагнитные излучения различной частоты в Земле и атмосфере. Так, вероятнее всего, рождаются различные электрические явления на земной поверхности в виде грозных процессов и магнитных бурь.

В пассивном режиме ГТ хотя и не излучает, но остается все же резко аномальным объектом по электрическим свойствам. Важная особенность вихревого характера геосолитонных воздействий состоит в том, что они формируют асимметричные распределения физических свойств в субвертикальных зонах трещиноватости внутри ГТ.

На рис. 7 (см. стр. 8) приведен геоэлектрический разрез по результатам МТЗ на Горелой

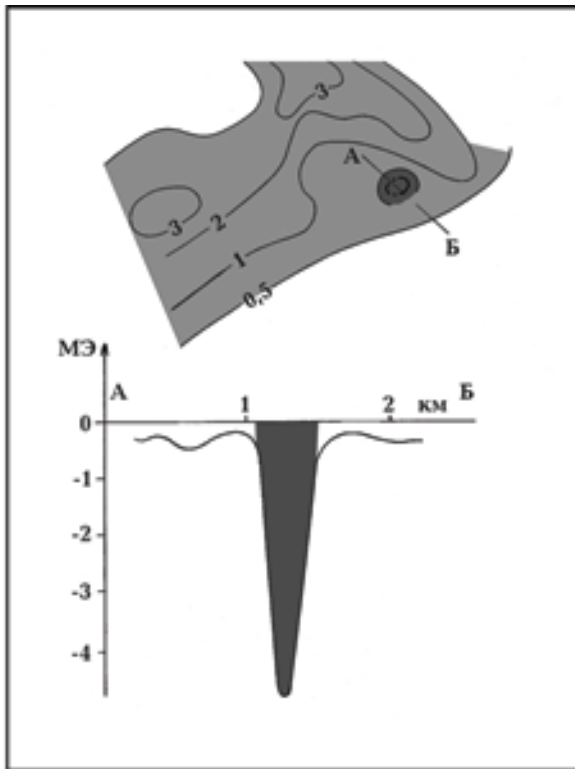


Рис. 6. Типичный пример малоразмерной отрицательной аномалии магнитного поля на юго-востоке Западной Сибири (по данным Р. М. Антоновича).

площади вблизи г. Ханты-Мансийск, в районе нефтяной залежи, образованной и контролируемой ГТ. По материалам высокоразрешающей объемной сейсморазведки методом отраженных волн и результатам глубокого бурения и испытания скважин установлено, что богатая нефтяная залежь (скв. 3 и 5 имеют начальные дебиты нефти более $600 \text{ м}^3/\text{сут}$) приурочена к карбонатной атоловой постройке на краю палеозойского вулкана. Ярко выраженные субвертикальные зоны пониженного сопротивления наиболее четко выделяются в основном в отложениях фундамента до глубины 12—15 км. В верхних осадочных отложениях (выше 2800—3000 м) весь разрез в целом является низкоомным, поэтому субвертикальные ГТ по методам электроразведки здесь выделить очень трудно. Зато в более высокоомных породах фундамента (изверженные, вулканические породы, плотные мраморизованные известняки) низкоомные СЗД выделяются более контрастно.

Совместный анализ гравиметрических карт и геолого-геофизических материалов как на территории России, так и во многих (в основном, океанических и шельфовых) районах

мира свидетельствует о тесной взаимосвязи структуры аномалий гравитационного поля и структуры полей геосолитонной дегазации Земли. Геосолитонная дегазация Земли и соответствующие ей геосолитонная геология и геофизика вносят принципиально новое понимание природы гравитационного поля Земли в целом и аномалий силы тяжести в любых масштабах.

С позиции геосолитонной дегазации величины отрицательных и положительных гравитационных аномалий могут объясняться степенью газонасыщения столба горных пород между земной поверхностью и ядром.

Практически все достаточно крупные по площади и по запасам группы месторождений в Западной Сибири на мелкомасштабной (1 : 2 500 000) гравитационной карте проявляются в виде отрицательных гравитационных аномалий. Так, на рис. 8 контрастными отрицательными аномалиями в гравитационном поле проявляются группы богатых месторождений в районах Красноленинского, Сургутского и Нижневартовского сводов. На рис. 9 показан фрагмент карты гравитационного поля, где отрицательные аномалии соответствуют известным месторождениям УВ. Красным цветом показана положительная гравитационная аномалия, соответствующая Уренгойско-Колтогорскому грабен-рифту.

Целесообразно отметить, что Русское месторождение тяжелых нефтей, в котором отсутствуют газ и легкие фракции УВ, из-за самого активного в Западной Сибири разлома не находит проявления в отрицательных аномалиях.

Наиболее контрастные отрицательные гравитационные аномалии совпадают здесь с наиболее богатыми месторождениями УВ, что свидетельствует о современной геосолитонной дегазации водорода и метана, восстанавливающей и пополняющей запасы УВ в районах активных ГТ. Например, Талинское, Федоровское и Самотлорское месторождения четко фиксируются отрицательными локальными гравитационными аномалиями [Мегеря, 2009].

В целом основные поисковые признаки, указывающие на месторождения УВ и контролируемые геосолитонными процессами, проявляют себя практически во всех геофизических полях при крупномасштабных, высокодетальных съемках.

Применение алгоритмов концентрации и интропродолжения геополей в площадном варианте для обнаружения объектов

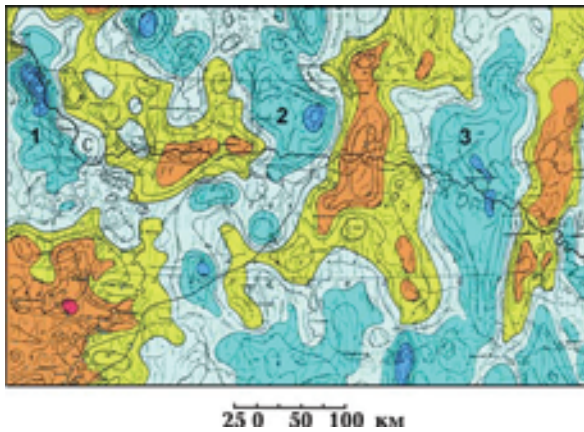


Рис. 8. Карта гравитационного поля в районе Красноярского (1), Сургутского (2) и Нижневартовского (3) сводов. Отрицательные значения — в синих тонах, положительные — в красных.

геосолионного происхождения. Выше было показано, что области интенсивного развития геосолионных процессов достаточно уверенно проявляются характерными аномалиями в потенциальных геофизических полях. Внутренняя структура этих областей может быть восстановлена с использованием разработанных методов и алгоритмов интерпретации из-

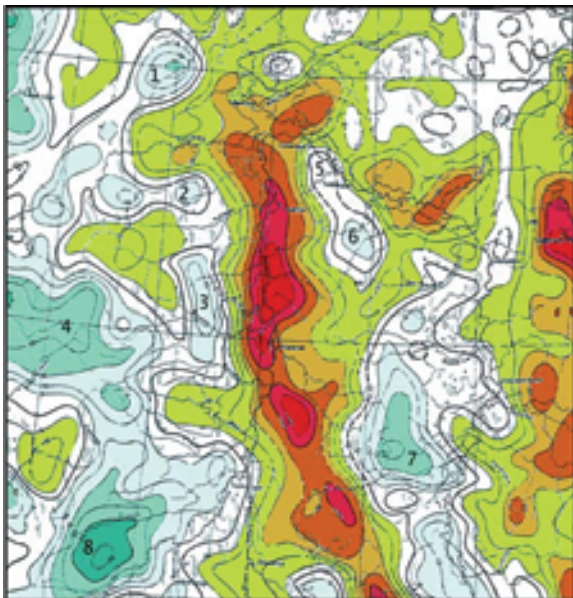


Рис. 9. Карта гравитационного поля в районе Уренгойского и Заполярного месторождений: 1 — Ямбургское; 2 — Песцовое; 3 — Уренгойское; 4 — Медвежье и Комсомольское; 5 — Тазовское; 6 — Заполярное; 7 — Усть-Часельское; 8 — Губкинское.

меряемых компонент потенциальных полей, в том числе и путем решения обратных задач геофизики.

При решении обратных задач геофизики в случае ограниченных выборок (что, как правило, присутствует в задачах геофизики, физики и техники) все три типа задач — восстановление регрессии, распознавание образов и собственно обратные задачи — некорректны в силу необходимости определения плотности вероятности путем решения некорректной задачи численного дифференцирования [Вапник, 1979; Лаврентьев и др., 2010]. Обратные задачи являются дважды некорректными, а обратные задачи магниторазведки для определения вектора намагниченности — трижды некорректными.

В силу этого при решении такого рода задач используются регуляризирующие алгоритмы в различной постановке (линейной А. Н. Тихонова, О. К. Литвиненко и В. Н. Страхова [Тихонов и др., 1968; Тихонов, Арсенин, 1979; Страхов, Филатов, 1990; Тихонов и др., 1983] и нелинейной В. Б. Гласко и В. Г. Филатова [Тихонов, Гласко, 1965; Гласко и др., 1970; Филатов и др., 1991], в вариационном методе А. Н. Тихонова [Лаврентьев и др., 2010; Тихонов и др., 1968; Тихонов, Арсенин, 1979], в методе приближенных решений М. М. Лаврентьева [Лаврентьев, 1962], в методе квази-решений В. К. Иванова [Иванов, 1962], регуляризации математического программирования и итерационной регуляризации В. И. Старостенко и С. М. Оганесяна [Старостенко, 1978; Старостенко, Оганесян, 2001; Оганесян, 2004; Лаврентьев и др., 2010], выметания и концентрации Д. Зидарова, А. В. Овчаренко, В. Г. Филатова и Ю. В. Гласко [Зидаров, 1980; 1984; Zidarov, 1990; Непомнящих и др., 1978; Филатов, 1980; Гласко и др., 2007], интропродолжения геополей с учетом вторичного магнитоминералообразования В. М. Березкина, В. Г. Филатова, А. М. Лобанова и М. Л. Овсепяна [Березкин и др., 1995; Лобанов и др., 2009; Карус и др., 1988]), оптимальной фильтрации системы КОСКАД А. А. Никитина и А. В. Петрова [Никитин и др., 2011 а, б] и регуляризации МТЗ А. Н. Тихонова [Тихонов, 1963]).

Наиболее общим и перспективным подходом в теории интерпретации геопотенциальных полей является направление эквивалентных перераспределений: выметание масс по Пуанкаре из области на границу, выметание из области в область, набухание и концентрация масс-источников по Д. Зидарову.

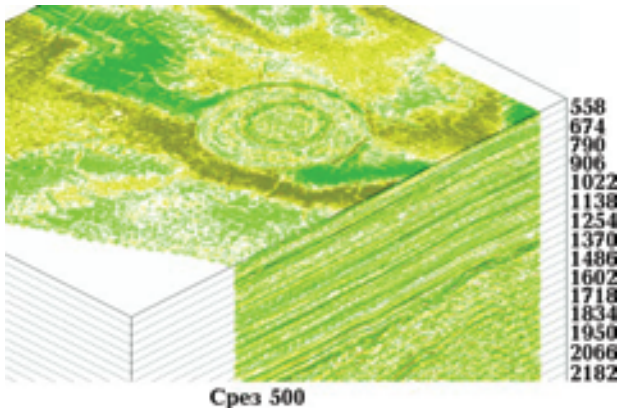


Рис. 10. Композиции вертикального и горизонтального волновых полей, полученные по результатам 3D сейсморазведки, в районе геосолитонной трубки на Полутынской площади (Западная Сибирь).

К преимуществам данного подхода относятся:

- 1) возможность пространственного изучения потенциальных полей в двумерной и трехмерной постановках;
- 2) более широкие возможности для гибкого учета априорной информации в процессе восстановления детального конфигурационного и плотностного строения источников аномалий;
- 3) возможности использования различных логических цепочек графов спецобработки и интерпретации наблюдаемых аномалий.

Для выметания масс из области на границу используется однозначный, по В. Н. Страхову [Страхов, 1978], алгоритм выметания масс и программа В. Г. Филатова и Ю. В. Гласко. Данный алгоритм описывается уравнениями типа диффузии или теплопроводности:

$$\Delta \sigma(x, z, t) = \sigma_t(x, z, t),$$

$$\begin{aligned} \sigma(x, z, 0) &= \sigma(x, z) \text{ для } (x, z) \text{ из тела } Q \\ &\text{и } 0 \text{ для } (x, z) \text{ вне } Q, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Delta \sigma(x, z) \Big|_{\Gamma} = \lim_{T \rightarrow 0} \int_0^T \frac{\partial \sigma(x, z, t)}{\partial n} \Big|_{\Gamma} dt;$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t}(x, z, t) \Big|_{\Gamma} = \frac{\partial \sigma}{\partial n} \Big|_{\Gamma}(x, z, t).$$

Здесь Γ — граница области E , внутри которой находится тело Q с плотностью $\sigma(x, z)$. В результате выметания получаем граничную плотность σ на границе Γ .

Другой алгоритм выметания и программа ЯКОБИ, разработанная В. Г. Филатовым и Ю. В. Гласко, использует аппарат эллиптических функций Якоби для выметания на прямоугольный контур Γ [Филатов, 1981]. Там же предложен регуляризирующий алгоритм (РА) на основе данного способа выметания для подбора внутренних источников по граничной плотности.

При решении обратной задачи в рамках данного подхода необходимо сначала по внешнему полю определить граничные плотности одного или нескольких контуров, охватывающих искомые источники.

Для этого разработана серия РА и программ РЕФ (регуляризованной фильтрации)

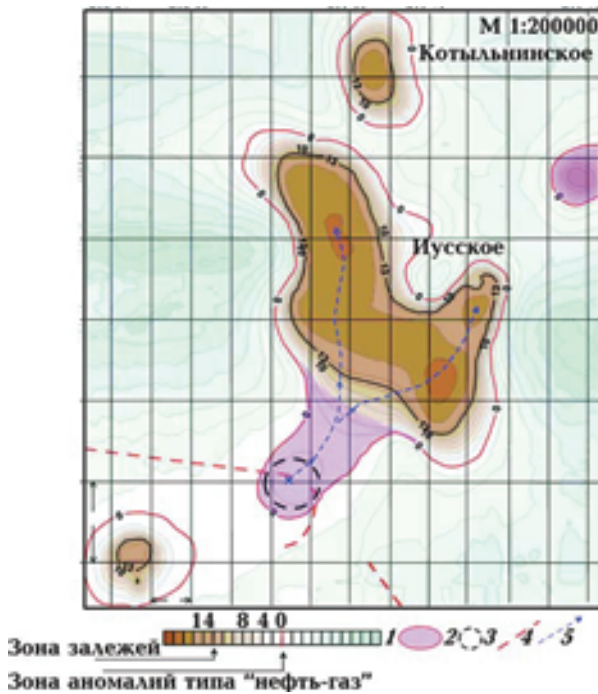


Рис. 11. Карта аномальных зон типа "залежь углеводородов" в районе Полутынской площади, Иусского и Котлынинского месторождений УВ (Шамимский нефтегазоносный район, Россия): 1 — шкала интенсивности аномального отклика (в единицах среднего пластового давления (МПа)); 2 — зона аномалий типа "газ"; 3 — положение Иусского объекта (геосолитона); 4 — тектонические нарушения; 5 — возможные пути миграции флюидов.

В. Г. Филатовым, Ю. В. Гласко и К. П. Ловецким [Филатов, Ловецкий, 1983].

Данная задача сводится к решению некорректной задачи линейной алгебры — плохо обусловленной системы линейных алгебраических уравнений:

$$\Delta g_i = A_{ij} \sigma_j^r. \quad (2)$$

Регуляризирующий алгоритм решения данной некорректной задачи сводится к минимизации сглаживающего функционала: $M^\alpha(\sigma, g) = N(\sigma, g) + \alpha \Omega(\sigma)$, где невязка $N(\sigma, g) = \|\Delta g - A\sigma\|_{L_2}$, α — параметр регуляризации, стабилизатор $\Omega(\sigma) = \|\sigma - \sigma_{on}\|_{L_2}$, σ_{on} — опорное приближение.

Оптимальное значение параметра регуляризации определяется по квазиоптимальному критерию. Данный РА реализован В. Г. Филатовым и Ю. В. Гласко в программе РЕФ.

Серия РА и программы РЕФ-1, 2, 3 [Филатов, Ловецкий, 1983; Филатов, 1980; 1990; 1991] К. П. Ловецкого, Ю. В. Гласко и В. Г. Филатова основаны на минимизации сглаживающего функционала с выбором оптимального решения с использованием точек Нэша.

В РА и программе РЕФ-1 определяется граничная плотность одного контура, в РЕФ-2 — двух и нескольких контуров, хотя точность при увеличении числа контуров, естественно, понижается. В РЕФ-3, как указано выше, для определения источников фонового поля и фоновой составляющей невязка по полю осуществляется по крыльям исходного поля.

По граничной плотности необходимо восстановить форму тела T и его плотность σ , в общем случае переменную. Данная задача в общем случае теоретически неоднозначна — не единственна и имеет единственное решение в рамках ограничений на форму и плотность, как правило, кусочно-постоянную, если многосвязное тело T состоит из ряда тел. В случае единственности возможно применение метода подбора с использованием аппаратов (вышеуказанных) выметания. Такой подбор с регуляризацией предложен в работе [Филатов, 1981]. Близкий подход к использованию выметания и регуляризованного определения граничных плотностей использован в работах [Непомнящих и др., 1978; Ли, 1979], причем в работе [Ли, 1979] применялся метод набухания для определения тела T и его плотности по первоначально подобранному сингулярному источнику (точка, отрезок, система точек и отрезков).

Наиболее оптимальным методом определения внутренних источников по граничному распределению является разработанные В. Г. Филатовым и Ю. В. Гласко РА и программа АКОМ (алгоритм концентрации масс-источников) по устойчивой конечно-разностной схеме с "физической регуляризацией" путем оставления финитной компоненты граничной плотности, нарушающей ее гармоничность [Зидаров, 1980; 1984; Zidarov, 1990; Филатов, Ловецкий, 1983; Филатов, 1980; 1990; 1991]. Установлена неустойчивость операторного процесса концентрации масс, обратного к выметанию масс из области на границу и эквивалентного некорректной задаче типа диффузии или теплопроводности в режиме обращенного времени типа квазиобращения Лионса [Латесс, Лионс, 1970] или Стефано с неизвестной границей в постановке В. Н. Страхова. Исследованы свойства оператора процесса концентрации граничной плотности простого слоя внешнего контура на внутренний знакопеременный слой, сжимающийся во времени, и коэффициенты данного оператора, связанные с числами Фибоначчи и треугольником Паскаля со знакопеременными элементами. Сформулированы условия устойчивости оператора концентрации. Численная реализация осуществлена в виде устойчивой итерационной конечно-разностной схемы операторного процесса граничного плотностного знакопеременного двойного слоя [Филатов, Ловецкий, 1983; Филатов, 1980; 1990; 1991]. Для устойчивости алгоритма необходимо выполнение условий: положительности граничных значений внешней плотности двойного слоя, непрерывность граничных значений этой плотности и отрицательная знакоопределенность вторых производных — выпуклость плотностного граничного распределения. Данные условия обеспечивают "продолжимость граничных масс внутрь области" и диктуют необходимость оставления части масс (финитной компоненты — части искомого внутреннего распределения масс-источников внешнего поля) вне текущего контура продолжения при переходе к вложенным внутренним контурам и областям внутренних масс-источников с оставшейся компонентой текущего граничного двойного слоя, который также состоит из финитной компоненты искомого масс-источников на следующем уровне и продолжаемой гармонической компонентой до тех пор, пока не будут исчерпаны все внутренние масс-источники поля. Это эквивалентно тому, что класс распределения плотностных неод-

нородностей представляет суперпозицию оставаемой плотностной неоднородности — финитной функции, удовлетворяющей уравнению Пуассона, и гармонической функции, удовлетворяющей уравнению Лапласа, продолжаемой части граничной плотности внешнего двойного слоя. Распределение масс в данном случае является геологически содержательным, так как представляет суперпозицию финитных и гармонических функций, т. е. существенно негармоническим, а не просто квазигармоническим, как при стандартной математической регуляризации метода подбора сеточных конструкций.

Следовательно, обеспечена "физическая регуляризация" данного способа и он лишен недостатка нормальных в L_2 гармонических решений обычных регуляризованных сеточных моделей, тяготеющих по принципу максимума к граничным распределениям — как правило, геологически бессодержательным. Этот недостаток обнаружен и устранен А. И. Кобруновым при разработке критериального подхода [Кобрунов, 1989]. Преимуществом РА АКОМ является более гибкая геофизическая схема, позволяющая менять стратегию поиска в интерактивном процессе решения, тогда как в критериальном подходе выбор критерия t (выбираемого по априорным данным или угадываемого образа масс-источников решения) осуществляется только в начале вычислительного процесса.

РА АКОМ в сочетаниях РА РЕФ, РЕНБОУ и РЕМУКО позволяет восстанавливать конфигурации и плотности одной или нескольких областей плотностной неоднородности и систем финитных контактных границ с неизвестными плотностями по наблюдаемому и продолженным полям, и эти комбинации применялись для поиска и разведки месторождений углеводородного сырья: нефти, газа, газоконденсата и битумов.

На основе вышеизложенного принципа концентрации масс-источников и способа ПНГ (полного нормированного градиента В. М. Березкина) разработаны способы интропродолжения полей [Карус и др., 1988] (РА ИНТРОП) и эквивалентных масс (РА ЛАПЛАС), изложенные в методике ГРИН (градиент и интропродолжение) и модификации МГРИН [Сташевский и др., 2007]. Данный подход позволяет обоснованно проводить дифференциальное расчленение геологического разреза по потенциальным магнитным, гравитационным, электрическим и термическим полям. Прин-

ципально указанный подход применим и к трехмерным моделям сред при наличии более мощной вычислительной техники, хотя в квазитрехмерном площадном варианте по серии увязанных профилей данный подход реализован (ТПОИГД — технология площадной обработки гравимагнитных данных) и применяется в геофизической гравимагнитной практике прогнозирования нефтегазовых месторождений [Филатов и др., 1991; Березкин и др., 1992]. Для данной технологии Ю. В. Гласко разработан алгоритм и программа трехмерного выметания АТВ и регуляризованного подбора типа РА Якоби [Филатов, 1981] — РА ОЗ АТВ, опробованный на моделях месторождений УВ. Трехмерное выметание рассматривалось в работах В. Н. Страхова и И. Э. Степановой [Страхов, Степанова, 2002 а, б].

Обнаружение и картирование малоразмерных объектов геофизическими методами. Нелинейные геодинамические процессы, формирующие малоразмерные в плане и многоэтажные в вертикальном геологическом разрезе системы месторождений полезных ископаемых, представляют огромный класс относительно новых перспективных геологических объектов. Благодаря геосолитонному механизму эти объекты проявляются практически во всех геофизических полях в виде малоразмерных геофизических аномалий. Для надежного выявления и детального картирования подобного типа месторождений необходимо проведение геофизических крупномасштабных (1 : 25 000) работ.

Механизм самоорганизации ГТ в Земле определяется достаточно долговременной памятью геологической среды о предыдущих путях миграции геосолитонов: СЗД, образовавшиеся в результате геосолитонного воздействия на породы, становятся предпочтительными каналами в последующей истории геосолитонного излучения. Многократное повторение импульсивного воздействия на горные породы, сопровождающееся дилатансионным разуплотнением осевой части ГТ, дополнительно усиливается повышенной угловой скоростью вращения в центральной части геосолитонных вихрей. В результате возникают положительные диапировые структуры, имеющие форму вулканического конуса. Такая коническая форма диапиров свидетельствует о вихревой природе геосолитонов.

Центробежная сепарация относительно легких и тяжелых частиц внутри ГТ усиливает отрицательную составляющую гравитационной

аномалии в осевой части вихря на фоне относительного увеличения плотности в периферийных частях трубки. Тем самым создается тенденция к формированию кольцевых форм относительно малоразмерных отрицательных гравитационных аномалий над ГТ и диапирами.

Малоразмерная отрицательная магнитная аномалия, порожденная первоначально узким вихревым пучком электронов, усиливается за счет сепарации магнитных минералов в процессе осадконакопления на каждом интервале геологического времени, совпадающего с выходом геосолитонов с повышенным импульсом закрутки. Положительная кольцевая магнитная аномалия должна быть не столь сконцентрированной, как внутренняя отрицательная, что чаще всего и наблюдается исследователями.

Подобные аномалии, вероятно, обусловлены осевой частью геосолитонного вихря. Узкие "столбы" повышенной электропроводности, совпадающие с отрицательными магнитными аномалиями, отмечаются по результатам электроразведки по методике магнитотеллурических зондирований и тоже выделяются только при детальных работах.

Опыт применения ВОС на территории Западной Сибири показал, что ГТ надежно выделяются и хорошо картируются с помощью сейсморазведки МОВ в основном в верхних осадочных отложениях, однако их картирование затруднено в глубинных горизонтах фундамента, сложенных изверженными, мраморизованными и метаморфическими породами. Это связано, скорее всего, с тем, что в этом интервале отсутствуют надежные и устойчивые отражающие границы. Сейсморазведкой уверенно выделяются ГТ за счет контраста в слоистых средах. Сама трубка выделяется здесь как геометрическое место точек, в котором нарушается системная горизонтальная слоистость, появляется аномальная форма и аномальные амплитуды отражений. Эти аномалии амплитуд и форм отражений вытягиваются в субвертикальный "столб", по которому ориентировочно можно выделить вертикальную зону деструкции. Поскольку в нижележащих горизонтах фундамента количество отражающих границ на один или два порядка меньше, то и контрастность по данным сейсморазведки здесь ухудшается. Зато в глубоких интервалах фундамента, где отсутствуют ярко выраженные отражающие границы, выделяемые сейсморазведкой, хорошо зарекомендовал себя метод теллурических зондирований, который "работает"

на контрастности высокоомных пород фундамента с низкоомными шнуроподобными, столбообразными телами, составляющими осевую часть ГТ.

Таким образом, весьма перспективным для поисков и разведки ГТ и месторождений, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли, представляется сочетание геофизических методов: сейсморазведка МОВ—ОГТ (для верхней осадочной части разреза) и электроразведка МТЗ (для более глубоких пород фундамента). Эффективность этого комплекса подтверждают результаты на Горелой площади под г. Ханты-Мансийск [Мегеря, 2009].

При проведении детальных гравиметрических работ на Сургутском и Нижневартовском сводах для выделения нефтеперспективных объектов широко применялись алгоритмы вычисления высших производных гравитационного потенциала и методы регуляризации А. Н. Тихонова для определения оператора пересчета поля с учетом мощности, глубины залегания и размеров латерального простираения нефтяных пластов в соответствии с концепцией геосолитонов [Мегеря и др., 2011а, б]. Положительные результаты получены на Южно-Сургутском, Ай-Пимском и других месторождениях нефти.

Методика 4D сейсморазведки позволяет выявить наиболее активные ГТ, в которых в настоящее время продолжают процессы геосолитонной нефтегазогенерации. На выявленных активных участках рекомендуется вести разработку залежей с соблюдением мер безопасности в осевых частях активных ГТ, активная дегазация может привести к разрушению в недалеком будущем залежей УВ. На старых месторождениях, где добыча завершена или находится на последней стадии, методика 4D способна выявить локальные очаги современного активного восстановления извлеченных запасов и тем самым обеспечить продолжительность разработки данного месторождения.

Восстановление запасов нефти чаще всего проявляется в неявной форме. Например, на известном Самотлорском месторождении имеются отдельные добывающие скважины с накопленной добычей более 2—3 млн тонн нефти, которые продолжают давать малообводненную продукцию. В то же время на расстоянии всего в 200—300 м от этих высокопродуктивных скважин находятся десятки добывающих скважин, обводненных на 99 % и имеющих накопленную добычу в тысячу раз меньше. Объяснением этого самотлорского феномена существования "ураганных" высокодебитных сква-

жин рядом с малопродуктивными и обводненными скважинами может быть только локальное восстановление запасов за счет современной геосолитонной генерации УВ. Предлагаемая методика способна своевременно выявлять эти локальные очаги и тем самым увеличивать эффективность разработки.

Традиционная методика профильной сейсморазведки в новых геосолитонных представлениях уже не удовлетворяет требованиям к точности окончательных результатов при пространственном картировании с высоким разрешением целевых малоразмерных объектов. В то же время постановка полноценной 3D сейсморазведки, способной обеспечить эти требования, на начальном поисковом этапе представляется слишком дорогостоящей и допустима только в исключительных случаях, когда на изучаемом участке уже имеются гарантии обнаружения богатых целевых объектов. В связи с этим предложен и используется промежуточный вариант применения сейсморазведки на поисковом этапе — методика "широкого профиля" (ШП), которая значительно дешевле полноправной 3D сейсморазведки и вместе с тем более высокоточная, чем стандартная 2D сейсморазведка, так как дает результаты существенно более высокого разрешения, чем традиционное линейное профилирование. Имеется и определенный положительный опыт работ по методике ШП в Ханты-Мансийской автономной области, в частности, при выявлении и картировании малоразмерных карбонатных построек на Ханты-Мансийской площади в 1984—1985 г. в районе высокодебитной скважины Р-5.

Методика ШП с последующей локальной постановкой более детальной ВОС на выявленных ГТ (по методике ШП) позволяет с наименьшими затратами достаточно быстро выходить на оптимальные системы разработки малоразмерных в плане залежей нефти и газа, контролируемых ГТ. На этих локальных участках вполне рентабельным представляется и применение методик 4D модификаций ВОС, что позволяет осуществлять выбор с учетом современной геосолитонной активности объектов для разработки среди множества выявленных малоразмерных залежей.

В настоящее время при поисках нефти и газа достаточно широко применяется метод "газовых труб", который используется для выделения зон вертикальной миграции УВ, дифференциации проводящих и непроводящих разломов [Aminzadeh, Connolly, 2004; Heggland, 2004].

Согласно этим работам, наличие или отсутствие газовых труб, их форма, протяженность и источник возникновения в соотношении с ловушками УВ позволяет классифицировать последние по продуктивности и перспективности. В концепции геосолитонной дегазации метод "газовых труб" также находит объяснение [Мегеря, Бембель, 2011]. Здесь необходимой предпосылкой для образования "газовых труб" является существование рядом активного геодинамического очага и следствия его проявления — зоны деструкции (как правило, субвертикальной). Степень нарушенности покровов в районе очага будет определять степень сохранности залежей, а вертикальная выраженность очага деструкции — вероятный этаж нефтегазоносности. Наличие газовых труб и VAMP-структур ("acoustic Velocity-Amplitude (VAMP) anomalies") рассматривается в работах [Aminzadeh, Connolly, 2004; Heggland, 2004] как атрибут нефтегазоносных бассейнов с активным флюидодинамическим режимом, а типы газовых высачиваний, фиксируемые по данным сейсморазведки, позволяют судить о процессах формирования или разрушения залежей УВ, продуктивности тех или иных ловушек УВ. Это вполне соответствует принципам геосолитонной концепции дегазации Земли [Бембель и др., 2003; Мегеря, 2009; Мегеря, Бембель, 2011].

Возможности нетрадиционных геофизических технологий при поисках объектов геосолитонного происхождения. Уже более десяти лет для поисков скоплений нефти и газа активно применяются неклассические геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля и вертикального электрорезонансного зондирования. В 2009—2011 гг. эта технология прошла широкую апробацию на пяти лицензионных участках в районе крупного Ванкорского месторождения [Кригин др., 2011].

Начиная с 2010 г. этот геоэлектрический комплекс дополнен мобильным и оперативным методом частотно-резонансной обработки и интерпретации (дешифрирования) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), который существенным образом расширяет возможности технологии в целом при решении задач поисков различных полезных ископаемых: нефти, газа, железной руды, золота, платины, урана, цинка, воды и т. д. В настоящее время этот метод уже прошел широкую апробацию на месторождениях нефти, газа, рудных минералов в различных регионах мира [Левашов и др., 2010; 2011 а, б]. Отличительной особенностью этой

технологии является то, что она позволяет оценивать (при ее использовании для поисков скоплений УВ) относительные значения среднего пластового давления, а следовательно, дополнительно сужать области заложения поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин [Левашов и др., 2011 а].

Акцентируем внимание также на том, что эти мобильные геофизические методы работают в рамках "вещественной" парадигмы геолого-геофизических исследований, сущность которой состоит в "прямых" поисках конкретного вещества: нефти, газа, золота, серебра, платины, цинка, железа, воды и т. д.

После начала практического применения методики оценки относительных значений пластовых давлений авторы стали обращать внимание на близкий к изометричному характер выделяемых аномалий типа "залежь". В связи с этим стало понятно, что геосолитонный механизм нефтегазообразования может в полной мере объяснить характер картируемых мобильными методами аномалий этого типа.

Для изучения характера расположения ГТ по отношению к месторождениям УВ была выполнена обработка данных ДЗЗ района расположения Иусского и Котыльнинского месторождений, а также Полутьинской площади, в пределах которой такого типа объект выделен по сейсмическим данным (рис. 10) [Мегеря, 2009]. В результате проведенной обработки на обследованной площади обнаружены и закартированы аномалии типа "залежь УВ" непосредственно в пределах расположения месторождений Иусское и Котыльнинское (рис. 11) [Левашов и др., 2011 б]. Небольшая аномалия такого же типа обнаружена также в юго-западном углу площади. В районе расположения самой "трубки" обнаружена аномалия типа "залежь газа" с относительно невысокими значениями среднего пластового давления газа. Еще одна аномалия такого же типа зафиксирована в северо-восточной части площади. Представленные на рис. 11 материалы позволяют предположить, что: а) крышка в районе самой "трубки" разрушена, вследствие чего месторождение УВ здесь не сформировалось; б) миграция флюидов из области расположения "трубки" происходила в северо-восточном направлении; в) нельзя также исключать из рассмотрения возможность миграции флюидов в юго-западном направлении.

В целом полученные результаты позволяют сформировать представление о возможном характере формирования месторождений УВ в

зонах вертикальной миграции флюидов. К этому следует добавить, что такие же соотношения между зонами вертикальной миграции и ловушками были зафиксированы при картировании техногенной залежи газа на одном из месторождений в Днепроовско-Донецкой впадине а также в районе грязевого вулкана Джау-Тепе (Керченский полуостров).

Выводы. Представленные выше практические материалы позволяют констатировать, что предложенная и глубоко проработанная геосолитонная концепция образования месторождений УВ предоставляет реальные возможности для выработки обоснованных практических рекомендаций по методике проведения комплексных геофизических работ, способной обеспечить успешные поиски и разведку сложно построенных залежей нефти и газа, контролируемых геосолитонным механизмом дегазации Земли. В частности, с позиции геосолитонной концепции нефтегазообразования заслуживают внимания следующие положения.

1. Традиционные методы поисков и разведки, ориентированные на достаточно крупные залежи УВ, малоэффективны для разведки малоразмерных залежей. Только результаты высокоразрешающей 3D сейсморазведки могут гарантировать успешное попадание разведочных и эксплуатационных скважин в малоразмерные залежи УВ, которые контролируются отдельными СЗД.

2. Главными признаками месторождений УВ являются геосолитонные трубки и вихревой характер физических полей, проявляющихся в материалах сейсмологии и сейсморазведки, в электроразведке (МТЗ), в гравитационных и магнитных полях.

3. Богатые по запасам месторождения УВ могут быть обнаружены с помощью главного поискового признака — геосолитонных трубок независимо от площади антиклинальных залежей, т. е. даже в случаях малоразмерных, малоамплитудных и безамплитудных залежей.

4. Реальные геолого-геофизические факты подтверждают концепцию геосолитонного происхождения антиклинальных и клиноформных залежей УВ в Западной Сибири.

5. Практическое применения на начальных этапах поисковых работ "легких" геофизических методов (гравиразведки, магниторазведки, электроразведки), а также методик обработки и интерпретации (дешифрирования) данных ДЗЗ предоставляет реальную возможность для ускорения и оптимизации геологоразведочного процесса на нефть и газ.

6. Применение ВОС на втором этапе поисковых работ (после обнаружения и картирования аномалий типа "залежь" (АТЗ)) позволяет: а) существенным образом ограничить (сократить) площади проведения сейсморазведочных работ, а следовательно, и сроки опробования конкретных площадей и участков; б) в пределах закартированных АТЗ проводить только 3D сейсмические исследования повышенной детальности; в) детально изучить малоразмерные и слабоконтрастные объекты, которые являются основными для пополнения (увеличения) запасов УВ; г) построить по данным высокоразрешающей 3D сейсморазведки детальную модель участка, на базе которой может быть сформирована оптимальная модель разработки как отдельных залежей нефти и газа, так и всего месторождения в целом.

7. Для выделения и картирования малоразмерных и слабоконтрастных объектов могут также использоваться современные технологии "прямого" прогноза залежей УВ на основе атрибутивного анализа волнового поля, базирующиеся как на известных кинематических и динамических атрибутах, так и на новых информативных атрибутах низкочастотного резонанса сейсмической эмиссии. В технологиях интегрированного анализа геофизических полей одновременно с атрибутами волнового поля применяются различные атрибуты данных несейсмических методов (гравиметрического, магнитометрического, электрических и электромагнитных) [Карасевич и др., 2010].

8. Проведение детальных геофизических работ в соответствии с разработанными рекомен-

дациями предприятиям Главтюменьгеологии позволило существенно увеличить общее число открытых нефтегазовых месторождений и залежей, в том числе и на территориях, непосредственно прилегающих к активно разрабатываемым месторождениям: Талинском, Ем-Еговском, Лебяжьем, Пальяновском, Каменном, Ханты-мансийском, Лянторском, Кечимовском, Варьганском, Ай-Пимском, Южно-Сургутском, Салымском, Приобском, Росславленском и др. На пограничном лицензионном участке рекомендовано 12 поисковых скважин, размещенных в зонах ГТ. Все скважины дали притоки нефти, что привело к открытию Южно-Нюринского, Варьяхского, Южно-Варьяхского, Северо-Комаринного, Комаринного и Верхнелумкойского месторождений нефти на севере Тюменской области. На Вершиновской площади (юг Предуральяского прогиба) сейсморазведочными работами по методике ШП выявлена структура. Рекомендованная поисковая скважина № 495 дала притоки газа, что привело к открытию Вершиновского месторождения [Мегеря, 2009].

9. Эффективная геолого-геофизическая методика обработки и интерпретации данных гравиметрии, магнитометрии и электроразведки с использованием устойчивых методов (алгоритмов) регуляризации и интропродолжения с определением оператора пересчета геофизических полей апробирована в геолого-тектонических условиях Широкого Приобья Западной Сибири.

10. С позиций геосолитонной концепции предлагаются подходы к поиску других полезных ископаемых, прежде всего урана, золота и алмазов.

Список литературы

- Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. — Тюмень: Вектор Бук, 2003. — 344 с.
- Березкин В. М., Абрамов А. Н., Филатов В. Г., Рожецкий Б. Ю., Овсепян М. Л., Еремеев М. И., Андриеев А. И., Крупенкова Н. В., Никанорова М. Ю. Физико-геологическое обоснование аэромагнитной съемки, гравиметрии и электроразведки для повышения эффективности разведки месторождений нефти и газа на шельфах России. — Москва: Изд. СпецИКЦ ПГ ГП ВНИИГеофизика, 1995. — 70 с.
- Березкин В. М., Жбанков Ю. В., Филатов В. Г., Трайнин П. Н., Булычев Е. В., Меттлев Р. Методические рекомендации по технологии площадной обработки и интерпретации гравиметрических данных (ТПОИГД). — Москва: Изд. Нефтегеофизики, 1992. — 80 с.
- Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. — Москва: Наука, 1979. — 448 с.
- Гласко В. Б., Остромильский А. Х., Филатов В. Г. О восстановлении глубины и формы контактной поверхности на основе регуляризации // Журн. вычисл. математики и мат. физики. — 1970. — 10, № 5. — С. 1292—1297.

- Гласко Ю.В., Филатов В.Г., Овсепян М.Л., Сташевский В.Е., Зиновкин С.В., Филатов Г.В. Использование регуляризованных методов решения уравнения диффузии и теплопроводности для выметания и концентрации масс-источников и интропродолжения потенциальных гравитационных и магнитных полей // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 34-й сессии Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского, Москва, 29 января — 3 февраля 2007 г. — Москва: ИФЗ РАН, 2007. — С. 82—84.
- Зигаров Д. О решении некоторых обратных задач потенциальных полей и их применение к вопросам геофизики. — София: Изд. Болг. АН, 1980. — 154 с.
- Зигаров Д.П. Обратна гравиметрична задача в геопроучваного и геодезията. — София: Изд. Българската АН, 1984. — 278 с.
- Иванов В.К. О линейных некорректных задачах // Докл. АН СССР. — 1962. — **145**, № 2. — С. 270—272.
- Карасевич А.М., Земцова Д.П., Никитин А.А. Новые технологии геофизических исследований при поисках и прогнозе углеводородного сырья. — Москва: Страховое ревю, 2010. — 140 с.
- Карус Е.В., Березкин В.М., Филатов В.Г. "Интропродолжение" потенциальных полей — физическая регуляризация уравнения Пуассона на основе полного градиента и принципа концентрации // Докл. АН СССР. — 1988. — **303**, № 6. — С. 1335—1337.
- Кобрунов А. И. Теория интерпретации данных гравиметрии для сложно построенных сред. — Киев: УМК ВО, 1989. — 100 с.
- Кринин В.А., Проскуряков А.А., Пьявко А.М., Червоный Н. П., Левашов С. П. Применение геоэлектрических методов СКВП-ВЭРЗ для поисков нефти и газа в районе Ванкорского месторождения // Нефтяное хозяйство. — 2011. — № 11. — С. 18—21.
- Лаврентьев М. М. О некоторых некорректных задачах математической физики. — Новосибирск: Изд. СО АН СССР, 1962. — 96 с.
- Лаврентьев М.М., Старостенко В.И., Филатов В.Г., Мегеря В. М., Лобанов А. М., Овсепян М.Л., Гласко Ю.В., Никульников А.Ю., Филатов Г.В., Волоцков М.Ю., Костерин М.И., Мосина Ю.В. Применение регуляризации в гравимагниторазведке при поисках месторождений углеводородов. — Москва: Изд. РГГРУ, 2010. — 88 с.
- Латесс Р., Лионс Ж.А. Метод квазиобращения и его приложения. — Москва: Мир, 1970. — 336 с.
- Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков // Геоинформатика. — 2010. — № 3. — С. 22—43.
- Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения // Геоинформатика. — 2011 а. — № 2. — С. 19—35.
- Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. О целесообразности оперативной оценки перспектив обнаружения новых скоплений углеводородов на территории Украины по данным дистанционного зондирования Земли // Геоинформатика. — 2011 б. — № 4. — С. 5—16.
- Ли В.С. Решение обратной трехмерной задачи грави-магниторазведки с использованием метода набухания // Вопросы прикл. геофизики (межвузовский сборник). — Алма-Ата: Изд. КазПТИ, 1979. — С. 39—53.
- Лобанов А. М., Филатов В. Г., Петров А. В., Овсепян М.Л., Гласко Ю.В., Беспрозванный П.А., Зиновкин С. В., Никульников А. Ю., Филатов Г. В. Интропродолжение и эпигенетическое магнитоминералообразование в нефтегазоразведке. — Москва: Изд. РГГРУ, 2009. — 79 с.
- Мегеря В.М. Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли. — Москва: Локус Станди, 2009. — 256 с.
- Мегеря В.М., Бембель С.Р. Геосолитонная составляющая при прогнозе и картировании залежей нефти и газа // Oil&Gas Eurasia. — 2011. — № 7—8. — С. 50—57. — <http://www.geotech.com.ru/ru/presscenter/publications/p0811>.
- Мегеря В. М., Старостенко В. И., Никитин А. А., Петров А.В., Филатов В. Г., Лобанов А. М. Применение геосолитонной концепции дегазации Земли, регуляризации и оптимальной фильтрации геофизических данных при поисках месторождений углеводородов: Учебное пособие. — Москва: Изд. РГГРУ, 2011 а. — 190 с.
- Мегеря В. М., Никитин А. А., Петров А. В., Старостенко В. И., Филатов В. Г., Лобанов А. М. Концепция геосолитонов, оптимальная фильтрация и интропродолжение геополей с учетом вторичного магнитоминералообразования в неф-

- тегазоразведке: Учебное пособие. — Москва: Изд. РГГРУ, 2011 б. — 202 с.
- Непомнящих А.А., Овчаренко А.В., Ли В.С., Соколов Л.В. Интерпретация гравитационных аномалий на основе пространственного изучения и разделения полей. — Алма-Ата: Изд. Каз. ГПИ, 1978. — 86 с.
- Нестеров И.И., Потеряева В.В., Салманов Ф.К. Закономерности распределения крупных месторождений нефти и газа в земной коре. — Москва: Недра, 1975. — 278 с.
- Никитин А.А., Петров А.В., Мегеря В.М., Старостенко В.И., Филатов В.Г., Лобанов А.М. Оптимальная фильтрация и интропродолжение геополей с учетом вторичного магнитоминералообразования в нефтегазоразведке: Учебное пособие. — Москва: Изд. РГГРУ, 2011 а. — 143 с.
- Никитин А.А., Петров А.В., Мегеря В.М., Филатов В.Г., Лобанов А.М. Применение регуляризации и оптимальной фильтрации геофизических данных при поисках месторождений углеводородов: Учебное пособие. — Москва: Изд. РГГРУ, 2011 б. — 138 с.
- Оганесян С.М. Регулярные методы решения трехмерных задач гравиметрии. — Ереван: Гитутюн, 2004. — 381 с.
- Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. — Киев: Наук. думка, 1978. — 228 с.
- Старостенко В.И., Оганесян С.М. Некорректно поставленные задачи по Адамару и их приближенное решение методом регуляризации А.Н. Тихонова // Геофиз. журн. — 2001. — 23, № 6. — С. 3—20.
- Сташевский В.Е., Овсеян М.А., Филатов В.Г., Зиновкин С.В., Гласко Ю.В., Филатов Г.В. Методика МГРИН интерпретации аэромагнитных и гравитационных полей для прогнозирования нефтегазоносности с использованием явления вторичного магнитоминералообразования // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 34-й сессии Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского (Москва, 29 января — 3 февраля 2007 г.). — Москва: ИФЗ РАН, 2007. — С. 230.
- Страхов В.Н. К теории плоских задач гравиметрии и магнитометрии — “аналитический мир”, порождаемый выметанием Пуанкаре // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1978. — № 2. — С. 47—73.
- Страхов В.Н., Степанова И.Э. Метод S-аппроксимаций и его использование при решении задач гравиметрии (локальный вариант) // Физика Земли. — 2002 а. — № 2. — С. 3—19.
- Страхов В.Н., Степанова И.Э. Метод S-аппроксимаций и его использование при решении задач гравиметрии (региональный вариант) // Физика Земли. — 2002 б. — № 7. — С. 3—12.
- Страхов В.Н., Филатов В.Г. Неустойчивость решения обратных задач гравиразведки. Методы решения некорректно-поставленных задач. Справочник геофизика. Гравиразведка. — Москва: Недра, 1990. — С. 35—41.
- Тихонов А.Н. К математическому обоснованию теории электромагнитных зондирований // Журн. вычисл. математики и мат. физики. — 1963. — 5, № 3. — С. 545—548.
- Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. — Москва: Наука, 1979. — 284 с.
- Тихонов А.Н., Гласко В.Б. Применение метода регуляризации в нелинейных задачах // Журн. вычисл. математики и мат. физики. — 1965. — 5, № 3. — С. 463—473.
- Тихонов А.Н., Гласко В.Б., Липвиненко О.К., Мелихов В.Р. О продолжении потенциала в стору возмущающих масс на основе метода регуляризации // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1968. — № 12. — С. 30—48.
- Тихонов А.Н., Мудрецова Е.А., Дорофеев И.Ф., Филатов В.Г., Целев В.И. Авторское свидетельство СССР № 1 045 196. Устройство для обработки данных гравиметрических съемок. Заявка № 2 887 838. Приоритет изобретения 3.03. 1980 г. — Москва: Изд. РГГРУ. — Опубл. 30.9. 1983 г., Бюл. № 36. — 186 с.
- Филатов В.Г. Восстановление плотностного распределения по гравиметрическим данным с использованием эллиптических функций Якоби // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1981. — № 12. — С. 99—103.
- Филатов В.Г. Решение прямой и обратной задачи гравиметрии для двух контактных границ на основе выметания, концентрации и нелинейного программирования // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1980. — № 5. — С. 93—98.
- Филатов В.Г. Теория и методология выметания и концентрации масс-источников геопотенциальных полей // Междунар. симпозиум по обратным задачам потенциальных полей прикл.

- геофизики: Тез. докл. (София, 8—13 октября 1990 г.). — София: Изд. Болг. АН, 1990. — С. 7.
- Филатов В.Г.* Теория и метод выметания и концентрации масс-источников на основе "физической" регуляризации уравнения Пуассона: Тез. докл. IX Междунар. семинара матем. геофизики (Германия, Берлин, 18—22 февраля 1991 г.), Свободный университет. — Берлин, 1991. — С. 15.
- Филатов В.Г., Захаров С.В., Жбанков Ю.В., Трайнин П.Н.* Способы пространственной обработки и интерпретации геопотенциальных полей. Обзор ВИЭМС. МГП. Разведочная геофизика. — Москва: Геоинформмарк, 1991. — 84 с.
- Филатов В.Г., Ловецкий К.П.* Регуляризованное восстановление системы двух областей плотностной неоднородности // Геофиз. журн. — 1983. — 5, № 6. — С. 55—58.
- Aminzadeh F., Connolly D.* Hydrocarbon Phase Detection and Other Application of Chimney Technology // AAPG Int. Conference, Cancun. — Mexico, 2004. — 6 p. — http://www.searchanddiscovery.com/documents/abstracts/2004intl_cancun/extended/A91514.pdf.
- Heggland R.* Hydrocarbon Migration and Accumulation Above Salt Domes-Risking of Prospects by the use of Gas Chimney // Processing of 24th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference, "Salt-Sediment Interaction and Hydrocarbon Prospectivity: Concepts, Application, and case Studies for the 21st Century", December 5-8, 2004. — Houston, Texas, 2004. — 17 p. — http://www.dgbes.com/images/stories/test/fluid/GCSSEPM_2004_Heggland_Migration+salt.pdf.
- Zidarov D.* Inverse gravimetric problem in geoprospecting and geodesy. — Amsterdam; Oxford; New York; Tokyo: Elsevier, 1990. — 284 p.