

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 553.982.2:550.843

В.Ю. ШИГАЕВ

ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Рассмотрены вопросы физико-химического обоснования геоэлектрохимического метода поисков месторождений нефти и газа. Предложена методика полевых исследований, приведены результаты экспериментального опробования в различных геологических условиях, показана высокая эффективность геоэлектрохимического метода.

Разведочная геофизика как главный инструмент поисков и разведки нефти и газа непрерывно совершенствуется. Исследованиями последних лет выявлены принципиально новые возможности геофизических методов. Первая из них, по мнению академика В.Н. Страхова, состоит в изучении «эффектов от искусственных воздействий на природную среду, иначе — эффектов от взаимодействия среды с полями», вторая «состоит в изучении тех эффектов в геофизических полях, которые возникают при физико-химических процессах в среде» [5, с. 19]. Для этого необходимо «создание специальных приемов и методик выделения, обработки и интерпретации подобных эффектов» [5, с. 20].

В данном направлении многими научными коллективами ведутся исследования по совершенствованию старых и созданию новых методов поисков и разведки месторождений нефти и газа. Так, на кафедре геофизики Саратовского государственного университета разработан способ прогнозирования нефтегазоносности локальных структур, основанный на изучении взаимодействия геологической среды с постоянным электрическим током [7]. Особое внимание при этом уделялось изучению физико-химического преобразования горных пород.

Физико-химические основы метода

Развитие теории геоэлектрохимических методов разведки, как методов изучения вещественного состава, неразрывно связано с именами И.С. Гольдберга, О.Ф. Путикова, Ю.С. Рысса, А.И. Соколовой и др.

По мнению основателей геоэлектрохимических исследований, горные породы представляют собой многофазную систему, включающую твер-

дую, жидкую, газообразную фазы. В породах выделяются две группы электрических процессов [4]: вещественный и электрический обмен на границе твердой и жидкой фаз; перенос вещества и электричества в объемах этих фаз.

В отложениях, перекрывающих нефтегазовые залежи, твердая фаза пород представлена в основном кварцем, полевыми шпатами, слюдами. По величине удельного электрического сопротивления минеральный скелет относится к группе диэлектриков. В этом случае на границе раздела твердой и жидкой фаз пород возможно развитие следующих процессов: сорбции растворенного вещества, ионного обмена, химических реакций, электрического извлечения элементов.

Первые два вида процессов изучены достаточно хорошо [2, 6]. Для нас наиболее интересны процессы электрохимического извлечения элементов. Общей закономерностью последнего, согласно [4], является первоначальное извлечение слабо связанных форм элементов, а затем все более трудно растворимых.

Электрохимические процессы, происходящие в горных породах, определяются плотностью (силой) тока j ; временем пропускания тока t ; электродным потенциалом ϕ и массой выделившегося вещества m [4].

Подвижность ионов равна $U = \bar{V}/\bar{E}$ или, учитывая, что $\bar{E} = \bar{j} \cdot \rho$, получим $U = \bar{V}/\bar{j} \cdot \rho$, где \bar{E} — напряженность электрического поля, ρ — удельное сопротивление. При этом \bar{V} (скорость движения жидкости) обусловлена различными процессами: диффузией, конвекцией и переносом в электрическом поле (миграцией).

При большой плотности внешнего тока $\bar{j} \gg 0$ уравнение, описывающее накопление ионов металлов в приэлектродной зоне, имеет вид [3]:

$\frac{dC}{dt} = \frac{U \cdot \rho \cdot j}{S} C_0$, где S — площадь электрода, C_0 — начальная концентрация (при $t = 0$) иононосителя тока. Решением является функция $C = \frac{U \cdot \rho \cdot j}{S} C_0 \cdot t$, отражающая линейную зависимость накопления массы (концентрации) металлов от времени пропускания тока.

Химические элементы в породах присутствуют в составе минералов, в поровых влаге и воздухе. Для каждого элемента выделяют несколько форм его нахождения [1], которые находятся в равновесном состоянии. Прохождение электрического тока через породу нарушает равновесное состояние форм элементов и сопровождается растворением одних минералов, образованием других, а также движением веществ и зарядов [4].

Перенос зарядов из объема в объем осуществляется либо катионами, либо анионами, либо теми и другими одновременно. В результате исходная горная порода изменяется как по вещественному составу, структуре и текстуре, так и по физическим свойствам: плотности, удельному электрическому сопротивлению и др. Под действием электрического тока переносятся и накапливаются микроэлементы в приэлектродных зонах. Одновременно прогрессивно изменяется состав, и порода преобразуется в новую. Такие изменения носят направленный характер вследствие того, что в месте ввода и отвода тока процессы противоположны.

Методика исследований

Методика геоэлектрических исследований базируется на знаниях закономерностей движения заряженных частиц в породах и возможности электрохимического извлечения из них микроэлементов различных форм.

В качестве анализируемого материала использовались образцы пород, отобранных в подпочвенном слое с глубин 40–50 см по системе профилей, пересекающих выделенные сейсморазведкой локальные объекты. В них определяли концентрацию тяжелых металлов. Затем отобранные образцы массой 250–300 г дробились до заданной крупности (фракция менее 0,05 мм) и насыщались дистиллированной водой в отношении 1:1 до полной влагоемкости. Это делалось с целью нейтрализации зависимости подвижности ионов от водонасыщенности, минерализации воды и пористости. Подготовленные образцы породы загружались в электрохимическую ячейку между двумя электродами, которая представляла собой пластмассовый стаканчик объемом 90 см³. Для того, чтобы материал электродов не влиял на анализы, использовались инертные электроды из графита с отверстием для свободного оттока газов, скапливающихся в приэлектродных зонах. На графитовые электроды подавался постоянный электрический ток. После пропускания тока из приэлектродных участков отбиралась навеска массой 2 г для спектрального анализа.

Главная задача при геоэлектрохимических исследованиях — определение оптимальных параметров силы тока J и времени пропускания элект-

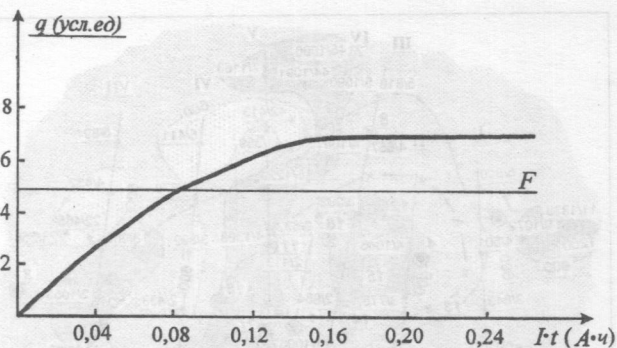


Рис. 1. Результаты однофакторного анализа

рического тока t через образцы пород, которое определяется законом Фарадея: $m = k \cdot J \cdot t$, где m — масса вещества, выделившегося в процессе электролиза; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от природы вещества. Таким образом, выделить необходимую массу вещества можно, подобрав необходимое для этого количество электричества $J \cdot t$.

На рис. 1 представлены результаты однофакторного дисперсионного анализа экспериментальных данных по выбору оптимального количества электричества, необходимого для проведения работ. Начиная со значений 0,12 А · ч рассчитанный критерий Фишера q при доверительной вероятности 0,95 значительно превышает табличный F . В тоже время затрачивать в ходе экспериментов количество электричества больше 0,20 А · ч нецелесообразно, так как рост q при больших значениях $J \cdot t$ практически не наблюдается.

Результаты экспериментальных исследований

В качестве примера апробации геоэлектрохимического метода прогнозирования нефтегазоносности рассмотрим результаты работ на Таловской площади. Таловское газовое месторождение расположено в северной части Прикаспийской впадины и приурочено к одноименной соляно-купольной структуре. Промышленная газоносность установлена в песчаных коллекторах верхневолжских отложений верхней юры на глубинах 880–950 м.

В ходе работ нами построена карта распределения суммы исходных концентраций ($C_{исх}$) выявленных элементов (рис. 2). Согласно рисунку, превышение концентраций микроэлементов в контуре газоносности достигается лишь за счет пикетов, расположенных в узкой центральной полосе. На большей части площади $C_{исх}$ не превышает среднего уровня. Это позволяет говорить об отсутствии какого-либо совпадения в распределении исходных концентраций (до пропускания тока) с контуром газоносности.

Результатирующим материалом геоэлектрохимических работ являются карты распределения относительного параметра $\Delta U = \frac{C_{ток}}{C_{исх}}$, который отражает степень активизации геохимических процессов в образцах горных пород электрическим током. Здесь $C_{ток}$ — концентрация элементов в приэлектродных зонах после пропускания электрического тока.

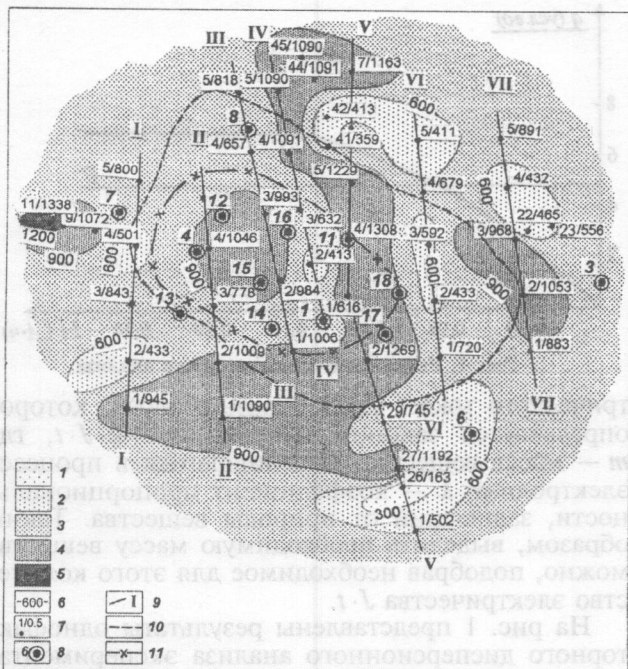


Рис. 2. Карта распределения суммы исходных концентраций элементов Таловского месторождения: 1—5 — уровни C ($n \cdot 10^3$ %): 1 — < 300 , 2 — 300—400, 3 — 600—900, 4 — 900—1200, 5 — > 1200 ; 6 — изолинии исходной суммарной проводимости; 7 — геоэлектрохимический пикет (над чертой — номер пикета, под чертой — значение суммарной концентрации); 8 — скважина и ее номер; 9 — профиль и его номер; 10 — внешний контур газоносности; 11 — внутренний контур газоносности

В зависимости от соотношения форм нахождения микроэлементов в породе ΔU по величине может быть больше, равна или меньше единицы. Выше отмечено, что прохождение электрического тока через породы приводит к их преобразованию, связанному с растворением и разрушением твердой фазы, извлечением и накоплением в приэлектродных областях микроэлементов, находящихся в первую очередь в подвижной форме. В этом случае $\Delta U > 1$. При отсутствии в образцах слабосвязанных микроэлементов $\Delta U \leq 1$.

Значения комплексного параметра (K_n), рассчитанного по формуле: $K_n = \Delta U_a \cdot \Delta U_k$ и учитывающего степень активизации геохимических процессов на аноде (ΔU_a) и катоде (ΔU_k), изменяются от 0,5—0,7 до 3—4 единиц (рис. 3). При этом минимальные значения характерны для центральной части месторождения и для некоторых пикетов, расположенных за пределами залежи. Максимальные значения K_n группируются в аномалию, которая как бы опоясывает по периферии внешний контур газоносности. Отдельные значения K_n (1—1,2) приходятся на внутренний контур.

Выявленная закономерность в распределении относительного параметра подтверждает эффект кольцевого окаймления месторождения, контролирующего, по-видимому, зону пониженных механических напряжений, по которым УВ мигрируют и, как следствие, образуются углеводородные аномалии.

Работы с целью прогноза нефтегазоносности до бурения выполнены на Алексеевско-Заветной площади. В качестве эталона использовано Алексеевское нефтяное месторождение.

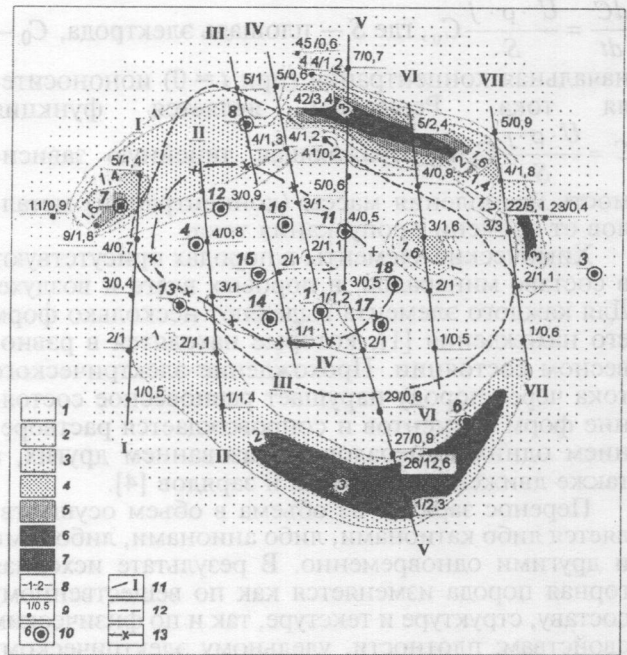


Рис. 3. Карта распределения комплексного параметра Таловского месторождения: 1—7 — уровни комплексного параметра (в усл. ед.): 1 — $< 1,0$, 2 — 1,0—1,2, 3 — 1,2—1,4, 4 — 1,4—1,6, 5 — 1,6—2,0, 6 — 2,0—3,0, 7 — $> 3,0$; 8 — изолинии исходной суммарной проводимости; 9 — геоэлектрохимический пикет (над чертой — номер пикета, под чертой — значение суммарной концентрации); 10 — скважина и ее номер; 11 — профиль и его номер; 12 — внешний контур газоносности; 13 — внутренний контур газоносности

В тектоническом отношении участок расположен в западной части Степновского сложного вала, входящего в состав Рязано-Саратовского прогиба. Нефтяная залежь вскрыта на глубинах 2150—2280 м в воробьевских песчаниках ($D_2 vb$) и представлена комбинированной ловушкой, образованной антиклинальной складкой, ограниченной разрывными нарушениями.

Севернее Алексеевского месторождения по данным сейсморазведки выявлена Заветная антиклинально-блоковая структура, нефтегазоносность которой предполагалось установить. С этой целью выполнены геоэлектрохимические исследования по системе профилей, пересекающих изучаемую площадь в субширотном направлении. На рис. 4 представлена карта распределения суммы исходных концентраций всех элементов. Какая-либо закономерность в распределении исходных содержаний выявленных микроэлементов отсутствует.

Алексеевскому месторождению соответствуют две зоны повышенных концентраций: восточная с низкими значениями C (300—600 $\cdot 10^{-3}$ %) и западная с повышенными C (600—900 $\cdot 10^{-3}$ %). Заветная площадь (скв. 1) характеризуется низкими концентрациями суммы всех элементов — 300—500 $\cdot 10^{-3}$ %.

По результатам геоэлектрохимических исследований построены карты распределения параметра ΔU как для отдельных элементов (Mn, Ni, V, Pb и др.), их суммы, так и комплексного параметра K_n . При этом типы распределения перечисленных параметров отличаются один от другого незначительно.

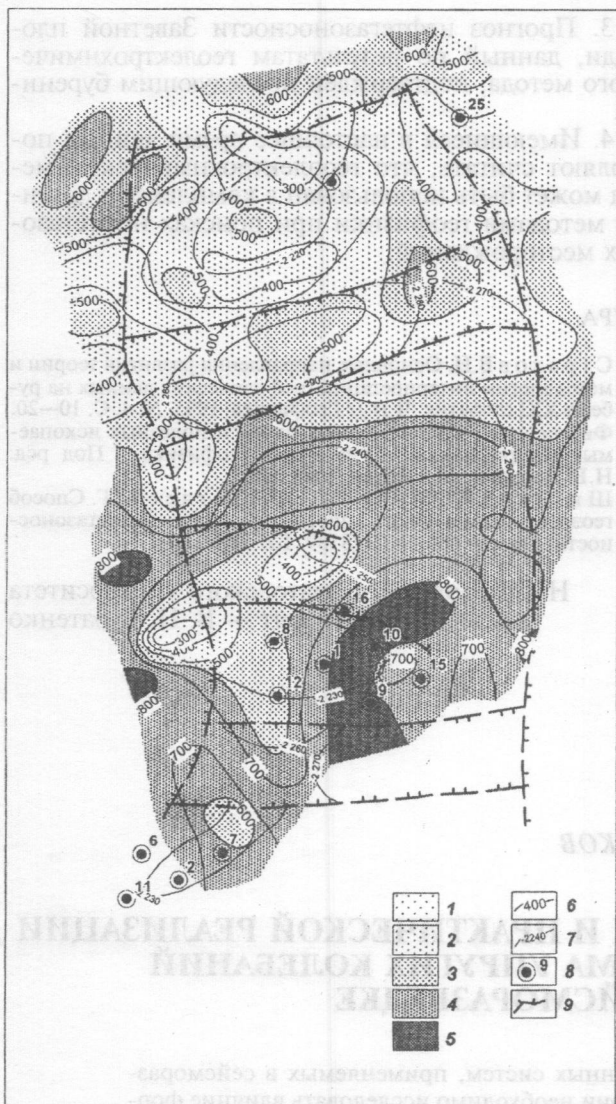


Рис. 4. Карта распределения суммы исходных концентраций всех элементов Алексеевско-Заветного участка: 1—5 — уровни C ($n \cdot 10^3 \%$): 1 — < 300 , 2 — 300—500, 3 — 500—600, 4 — 600—800, 5 — > 800 ; 6 — изолинии исходной суммарной проводимости; 7 — изогипсы по подошве воробьевских отложений (по данным ОАО «Саратовнефтегеофизика»); 8 — скважина и ее номер; 9 — тектонические нарушения

Для примера приведем анализ распределения параметра K_n (рис. 5). Значения комплексного параметра по площади работ меняются от 0,5—0,7 до 2,0—3,0 единиц. Максимальные значения K_n приходится на зоны разломов. Так, восточный разлом, выделенный по данным сейсморазведки, полностью совпадает с аномалией K_n . Западный меридиональный разлом отличается серией локальных аномалий K_n .

Алексеевскому месторождению соответствует зона повышенных значений K_n с амплитудой 1,2—1,4 и выше. Заветная площадь характеризуется серией из трех аномалий повышенных значений K_n (2 единицы и более). Все три аномалии практически совпадают с поднятием по подошве воробьевских отложений ($D_2 vb$), причем северная аномалия полностью. Пробуренная по данным сейсморазведки скв. 1 приходится на периферию выделенных зон повышенных значений K_n . Мож-

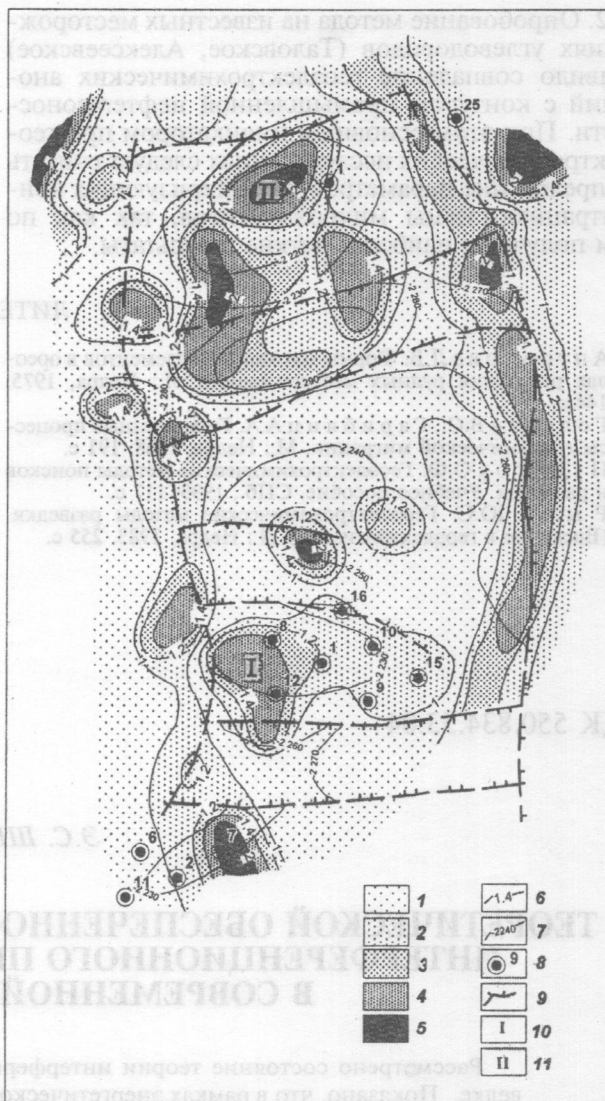


Рис. 5. Карта распределения комплексного параметра Алексеевско-Заветного участка: 1—5 — уровни комплексного параметра (в усл. ед.): 1 — $< 1,0$, 2 — 1,0—1,2, 3 — 1,2—1,4, 4 — 1,4—2,0, 5 — $> 2,0$; 6 — изолинии исходной суммарной проводимости; 7 — изогипсы по подошве воробьевских отложений (по данным ОАО «Саратовнефтегеофизика»); 8 — скважина и ее номер; 9 — тектонические нарушения; 10 — Алексеевское месторождение; 11 — Заветная площадь

но сказать, что по данным геоэлектрохимических исследований скважина пробурена в неоптимальных условиях. При этом наиболее перспективным участком является площадь западнее скв. 1.

Выводы

1. Предложен геоэлектрохимический метод поисков месторождений углеводородов. Разработанная при его создании методика исследований позволила установить существенное влияние электрического тока на геохимические процессы, протекающие в горных породах. Активизация этих процессов способствует выделению аномалии микроэлементов в подвижной форме и снижению влияния на результаты исследований валового содержания.

2. Опробование метода на известных месторождениях углеводородов (Таловское, Алексеевское) выявило совпадение геоэлектрохимических аномалий с контуром промышленной нефтегазоносности. При этом основным индикатором при геоэлектрохимических исследованиях следует считать распределение параметров, характеризующих концентрацию суммы микроэлементов, так как по ним получены наиболее четкие результаты.

3. Прогноз нефтегазоносности Заветной площади, данный по результатам геоэлектрохимического метода, подтвержден последующим бурением.

4. Имеющиеся в настоящее время данные позволяют считать, что геоэлектрохимический метод может быть использован в комплексе с другими методами геофизики при поисках нефтегазовых месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антропова Л.В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л.: Недра, 1975. 144 с.
2. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М.: Недра, 1968. 191 с.
3. Путиков О.Ф. Геоэлектрохимические методы поисков и разведки. Учебное пособие. СПб., 1993. 117 с.
4. Рысс Ю.С. Геоэлектрохимические методы разведки. (Введение в геоэлектрохимию). Л.: Недра, 1983. 255 с.
5. Страхов В.Н. Основные направления развития теории и методологии интерпретации геофизических данных на рубеже XXI столетия. Ч. II // Геофизика. 1995. № 4. С. 10–20.
6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1984. 455 с.
7. Шигаев В.Ю., Михеев С.И., Шигаев Ю.Г. Способ геоэлектрохимического прогнозирования нефтегазоносности. Патент РФ № 2178189. БИ 2002. № 1.

НИИ Геологии Саратовского университета
Рецензент — В. П. Губатенко

УДК 550.834.53.04

Э.С. ШЕСТАКОВ

О ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПРИЕМА УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Рассмотрено состояние теории интерференционных систем, применяемых в сейсморазведке. Показано, что в рамках энергетической теории необходимо исследовать влияние формы сигнала, аддитивных и мультипликативных случайных помех на характеристики интерференционных систем.

Полезные волны, несущие информацию об изучаемом объекте, составляют лишь небольшую часть волнового поля, наблюдаемого при сейсморазведочных исследованиях. До внедрения в практику сейсморазведки лабораторной обработки сейсмограмм задача выделения полезных волн на фоне помех решалась исключительно с помощью полевых интерференционных систем — группированием источников и приемников сейсмических колебаний.

В 40–60 гг. XX в. отмечено бурное развитие теории интерференционного приема сейсмических колебаний, которая, опираясь на достижения радиофизики, теории связи и информации [1, 4, 11, 14], заимствовала в качестве аналитического аппарата спектральный подход. Началом систематических исследований в этом направлении следует считать работу А.А. Цветаева [17], практическим завершением формирования частотной теории сейсморазведочных интерференционных систем явилась монография Ф.М. Гольцмана [7]. И в настоящее время это наиболее полно и строго разработанная теория. В ней глубоко

исследованы вопросы анализа действия одномерных и многомерных систем как в отсутствие, так и в присутствии случайных помех. Органический недостаток частотной теории — необходимость спектрального описания характеристик волновых полей. Проблема заключается в том, что спектральный анализ, являясь дифференциальным методом, дает неустойчивые результаты в присутствии случайных помех и трудоемок в реализации. Эти обстоятельства сказались прежде всего при решении вопросов синтеза интерференционных систем на основе характеристик волнового поля. Именно поэтому в [7] в разделе, где рассмотрены вопросы синтеза, автор вынужден огрублять представление исходных данных и уходить от пространственно-частотного их представления к пространственно-временному.

Реакцией на описанную ситуацию явилась разработка энергетической теории интерференционных систем [2, 3, 6], оперирующей в пространственно-временной области. Обоснованием возможности отказа от спектрального описания волнового поля послужили результаты исследований