

ДИСТАНЦИОННЫЕ
МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКОЙ
ТРЕЩИНОВАТОСТИ
ПОРОД
НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ



ДИСТАНЦИОННЫЕ
МЕТОДЫ
ИЗУЧЕНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКОЙ
ТРЕЩИНОВАТОСТИ
ПОРОД
НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ

5261



МОСКВА "НЕДРА" 1988



ББК 26.3

Д 48

УДК 553.98 : 551.243.8 : 528.711.1 (202)

Авторы: *Г. И. Амурский*, д-р геол.-минер. наук, *Г. А. Абраменок*,
М. С. Бондарева, канд. геол.-минер. наук, *Н. Н. Соловьев*, канд. геол.-минер.
наук

Рецензент д-р геол.-минер. наук *В. А. Буш*

Дистанционные методы изучения тектонической трещи-
Д 48новатости пород нефтегазоносных территорий/Г. И. Амур-
ский, Г. А. Абраменок, М. С. Бондарева, Н. Н. Соловьев.—
М.: Недра, 1988.— 164 с.: ил.

ISBN 5-247-00211-3

Рассмотрены методы изучения линеаментов (отражение тектонических напряжений земной коры) по дистанционным снимкам для решения задач нефтегазовой геологии. Даны определения линеамента и линеamentной трещиноватости, рассмотрена их геологическая природа. Обоснована возможность выделения и трассирования линеаментов, соответствующих зонам трещиноватости продуктивного пласта. Приведены примеры использования таких данных при поисках, разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа.

Для геологов-нефтяников и специалистов, занимающихся аэрокосмическими методами исследования.

Д 1904050000—416
043(01)—88—89—88

ББК 26.3

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ (ПРАКТИЧЕСКОЕ) ИЗДАНИЕ

Амурский Геннадий Иванович
Абраменок Григорий Александрович
Бондарева Маргарита Семеновна
Соловьев Николай Николаевич

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Заведующий редакцией *Е. Г. Першина*
Редактор издательства *Н. К. Алферова*
Обложка художника *Ю. Г. Асафова*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технические редакторы *В. Ю. Любимова, Л. Я. Голова*
Корректор *Н. А. Громова*
ИБ № 7115

Сдано в набор 06.06.88. Подписано в печать 30.09.88. Т-19636.
Формат 60×90 1/16. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура Литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 10,25. Усл. кр.-отт. 10,5. Уч.-изд. л. 11,65.
Тираж 1420 экз. Заказ 318/1184—3. Цена 60 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3

Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ

ISBN 5-247-00211-3

© Издательство «Недра», 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Нефть и газ являются главными энергоносителями XX в. Однако уже в конце 60-х — начале 70-х гг. стало очевидным, что пора массовых открытий легкодоступных для освоения нефтяных и газовых месторождений подходит к концу. Все чаще и чаще поиски, разведка и разработка месторождений осуществляются в условиях, требующих крупных капиталовложений. В связи с этим резко возрос интерес к научным исследованиям, повышающим надежность локального прогнозирования нефтегазоносности и достоверность информации о строении и добычных возможностях месторождений и обеспечивающим их рациональную разработку.

Среди новых методов изучения нефтегазоносных территорий все большее значение приобретают дистанционные методы. Возрастающий поток материалов дистанционных съемок с космических кораблей позволяет многократно получать разновременную фотoinформацию о строении практически любого участка Земли. При изучении природных ресурсов Земли из космоса материалы дистанционных съемок геологических объектов для нефтяной и газовой отраслей приобрели приоритетное значение. Массовое использование этой информации не только способствовало ускоренному изучению геологического строения многих ранее мало исследованных территорий, но и стимулировало разработку принципиально новой методологии геологических исследований и поисков полезных ископаемых на основе дешифрирования космических снимков.

В последние годы опубликованы крупные обобщающие работы об использовании космических снимков при геологических, тектономагматических и металлогенических исследованиях на геологически открытых территориях. Но монографических описаний результатов изучения нефтегазоносных областей по материалам дистанционных съемок известно значительно меньше.

Исследования в области нефтегазовой геологии в основном сводятся к переинтерпретации схем нефтегеологического районирования, в частности за счет уточнения границ по разрывным структурам, и прогнозированию погребенных локальных складок. Редко делаются попытки изучения по материалам дистанционных съемок отдельных месторождений, зон нефтегазоаккумуляции и поисков реальных путей внедрения дистанционных материалов на этапах локального прогнозирования нефтегазоносности, проведения поисковых и разведочных работ и освоения уже открытых месторождений.

В течение ряда лет авторы проводили исследования в области поисков методических приемов по использованию материалов дистанционных съемок при решении задач нефтегазовой

геологии: поисков, разведки и эксплуатации месторождений газа и нефти. Одно из наиболее перспективных направлений целевого дешифрирования дистанционных материалов — линейный анализ.

Преимуществом работы с космофотоснимками является возможность их стереоскопического изучения при значительной обзорности. Локальные геологические объекты — складки, разломы, зоны трещиноватости, пласты и их группы — на трансформированных среднемасштабных снимках имеют размеры в несколько сантиметров, реже дециметров, что позволяет при разрешении до 5 линий/мм в ряде случаев дешифрировать даже детали морфологического «портрета» объекта в их взаимосвязи.

Отраслевое дешифрирование космофотоснимков относится к классу задач распознавания образов в условиях различной степени информированности о глубинном строении объекта исследований. Предложенные в настоящей книге методические и прикладные разработки базируются на тектонодинамическом подходе, который позволил использовать линейный анализ в качестве основного средства интерпретации.

Предлагаемая вниманию читателей работа — первое обобщение результатов использования дистанционных исследований на уровне локальных объектов с целью решения отраслевых задач нефтегазовой геологии. На конкретных примерах показаны возможности использования материалов дешифрирования космофотоснимков в разнообразных нефтегазогеологических условиях — при изучении крупных газовых залежей в терригенных пластах на моноклиналях, массивных залежей газа в карбонатных резервуарах аллохтона, залежей высоковязких нефтей в дегазированных неглубоко залегающих терригенных пластах, зон рапогазонасыщения в эвапоритовых формациях и т. д. Методология линейного анализа при решении этих и ряда других вопросов основывалась на том, что результаты дешифрирования и интерпретации представляют синтез дистанционных материалов и всех необходимых традиционных сведений о геологическом строении, продуктивном пласте, насыщающем флюиде в соразмерных объемах и детальности, обеспечивающих решение поставленной задачи.

ВВЕДЕНИЕ

При дешифрировании снимков геологически открытых территорий главными поисковыми признаками могут служить различия цветовой гаммы (и отражательной способности) разнообразных минеральных ассоциаций, в том числе представляющих важнейшие твердые полезные ископаемые. Однако, как отмечают Н. Шорт и Р. Маррз (1979 г.), даже в хорошо обнаженных районах лишь в немногих случаях ареалы минеральных геохимических аномалий могут обуславливать визуальное изменение фототона не только на черно-белых, но и на сводных цветных снимках «Лэндсат». Для повышения информативности снимков полезна их машинная обработка, которая позволяет существенно дифференцировать спектральные и радиометрические характеристики изображений.

К сожалению, для нефтегазоносных регионов, в которых подавляющее большинство изучаемых объектов не имеет прямого поверхностного выражения, дополнительная обработка первичного фотозображения практически не обеспечивает повышения целевой информативности снимков. А поскольку все еще далеко не ясны физические (физико-химические) основы фиксируемого в ряде случаев опосредованного отображения на космических снимках (КС) погребенных геологических тел, представляющих интерес в отношении нефтегазоносности, то изучение конкретных месторождений всегда требует индивидуального подхода и находится на грани интуитивного предвидения. Поэтому сейчас, по крайней мере, преждевременно давать какие-либо общие рекомендации на проведение систематических работ по использованию МДС при составлении геологических моделей месторождений углеводородного сырья. В каждом конкретном случае используемые методические приемы анализа могут быть разными.

Методология и методические основы общего геологического дешифрирования и интерпретации МДС разных масштабов, типов, зон спектра и т. д. разрабатывались В. И. Башиловым, С. М. Богородским, В. Н. Брюхановым, В. А. Бушем, Г. Б. Гониным, В. И. Гридиным, Я. Г. Кацем, В. В. Козловым, В. И. Макаровым, Н. В. Межеловским, Б. Н. Можаяевым, Л. М. Расцветаевым, В. Г. Трифоновым, С. С. Шульцем и др. Методические приемы отраслевого дешифрирования и целевого анализа МДС развивались преимущественно в НИИ соответствующих министерств и далеко не всегда становились достоянием широкой геологической общественности.

Многолетний опыт систематического изучения космических снимков нефтегазоносных областей показал возможность получения новой информации, дополняющей и (или) уточняющей сведения о строении изучаемых объектов, полученные традици-

онными геолого-геофизическими методами. Первые результаты таких исследований обобщены в опубликованных работах [19, 20] и на «Тектонической карте нефтегазоносных областей» (1983 г.), составленной с использованием космической информации.

В настоящей работе в отличие от опубликованных ранее основным объектом изучения были конкретные месторождения газа и нефти и зоны нефтегазонакопления. Главным инструментом исследования служил метод линеаментного анализа.

Преимущества линеаментного анализа при решении отраслевых задач определяются возможностью изучения разноранговых систем трещиноватости нефтегазосодержащих осадочных толщ, часто оказывающей существенное влияние на условия формирования и геологическое строение нефтяных и газовых месторождений. Благодаря разнообразным ассоциациям дизъюнктивов, фрагменты строения месторождений нефти и газа находят косвенное отражение в приповерхностных горизонтах. Поэтому в комплексе с традиционной геолого-геофизической информацией в некоторых случаях дистанционными методами удается получить недоступные ранее сведения о строении месторождений. Последние, в свою очередь, позволяют по-новому оценивать состояние пластовых систем объектов исследования.

Разномасштабная трещиноватость горных пород является предметом изучения многих дисциплин геологического профиля. Авторы под трещиноватостью в широком смысле слова понимают делимость земной коры и (или) слагающих ее горных пород, обусловленную нарушениями их сплошности разного ранга и разного кинематического типа (генезиса). В соответствии с этим определением выделяют три основных уровня трещиноватости: микро-, мезо- и мегатрещиноватость. Дистанционными методами распознается трещиноватость двух последних уровней, однако при изучении нефтяных и газовых месторождений наиболее информативен космофотогеологический анализ мезотрещиноватости.

Выразительные системы упорядоченных по простиранию линеаментов, отождествляемые с зонами мезотрещиноватости, практически оказались вне сферы внимания специалистов, занимающихся изучением месторождений нефти и газа. Возникшие или активизирующиеся преимущественно в неотектоническое и даже в субсовременное время зоны мезотрещиноватости авторы рассматривают в качестве основного объекта исследований. Подобные дислокации, широко развитые на «закрытых» пространствах платформ и предгорных прогибов, потребовали выяснения их природы и роли в строении месторождений нефти и газа.

Качественная новизна информации из космоса, особенно детальных МДС, и использование ее в отраслевых целях — при изучении месторождений нефти и газа — вызвала необходимость решения вопросов о возможностях метода дистанционного изу-

чения, достоверности способов извлечения полезной информации и ее интерпретации, надежности и расширения круга теоретических и практически решаемых задач в геологии нефти и газа.

Отраслевое дешифрирование линеаментных систем основывается на:

принципе доминантности, т. е. в основу интерпретации положены результаты дешифрирования снимков, а объективная геолого-геофизическая информация позволяет разработать «трехмерную» модель объекта;

принципе многократности, заключающемся в обязательности возврата к дешифрированию по мере поступления или углубления геолого-геофизической информации, он сохраняется и при совещательном дешифрировании;

принципе комплексности, который понимается как право принятия окончательной модели объекта или решения вопроса только на основе использования и отбраковки материалов и результатов из арсенала знаний смежных отраслей;

принципе соразмерности, производном от принципа комплексности, который заключается в использовании информативных и значимых материалов в условном масштабе анализируемого объекта или явления.

Весьма перспективна разработка основ тектонодинамической интерпретации результатов дешифрирования КС. Суть такого подхода заключается прежде всего в признании определяющей роли современной динамики тектонических движений и инициируемых ими преобразований подземной гидросферы в формировании поверхностных признаков (ландшафтно-морфологических «портретов») погребенных структур на геологически закрытых территориях. Один из механизмов такой связи — деформационное разуплотнение (дилатансия) горных пород, происходящее при тектонодинамическом короблении блоков земной коры в условиях неравномерного объемного сжатия.

Выделяемая при дилатансии пород энергия не приводит к четко выраженным внешним проявлениям, поскольку она рассеивается в огромном объеме горных пород на обширных площадях. Однако суммарный расход «дилатансионной энергии» может существенно превышать энергию крупнейших землетрясений. И в том и в другом случае выделяемая механическая энергия представляет собой доминирующую часть энергии связи частиц пород на площади, равной суммарной новообразованной поверхности при нарушении их сплошности. Изменение энергетического состояния каркаса и флюидной фазы пород может служить энергетической основой изменения структурно-петрофизических, геохимических, газо- и гидрохимических и гидродинамических параметров системы горная порода — флюиды. Во многих случаях динамика этих и им подобных явлений может заметно влиять на флуктуации структуры фотооблика

земной поверхности, иногда постоянно действующие, часто спонтанно-миготные.

При комплексном анализе результатов дешифрирования дистанционных материалов и данных геолого-геофизических исследований обнаруживаются факты несоответствия положения в плане линеаментов и «геофизических» разломов. Основная причина этого, на наш взгляд, закономерного результата — неадекватность условий отображения дизъюнктивов, их зон и систем на КС и в геофизических полях. Космические снимки чувствительны в основном к динамичным в новейшее время элементам делимости земной коры (горных пород) независимо от размаха былых или современных смещений. Геофизические поля отражают главным образом структурно-морфологические и физические параметры зон разломов в незначимой связи со временем их формирования или активизации. Глубокое осознание накопленных фактов в перспективе может обеспечить возможность разработки новых методов ретроспективной реконструкции динамики полей напряжений и обусловленного ею структурно-морфологического преобразования изучаемых погребенных геологических объектов.

1. ЛИНЕАМЕНТНАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Изучение и геологическая интерпретация линеаментов, отражающих дизъюнктивные нарушения и общую тектоническую делимость земной коры, а также использование линеаментной информации в прикладных целях, в том числе в нефтегазовой геологии, по существу, выделились в особое направление дистанционных геологических исследований. Это объясняется несколькими причинами, главная из которых — высокая информативность линеаментного анализа, позволяющего не только изучать разломную тектонику, но и прогнозировать и изучать пликативные структуры и зоны безамплитудной трещиноватости — важнейшие объекты нефтегазогеологических исследований.

К настоящему времени накоплен достаточно большой опыт изучения и геологической интерпретации линеаментов, разработаны или намечены различные методы и приемы линеаментного анализа, требующие обобщения и критической оценки для дальнейшего определения наиболее перспективных направлений разработок. Выделен особый тип линеаментных структур — зоны мезотрещиноватости, изучение которых позволит использовать линеаментный анализ на этапах разведки и эксплуатации месторождений нефти и газа. Обобщение и оценка методов линеаментного анализа могут быть проведены только на основе исследования геологической природы линеаментов.

1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ И СВОЙСТВА ЛИНЕАМЕНТОВ

Термин «линеамент» (лат. *lineamentum* — линия, черта) обычно используется для обозначения линейных объектов на МДС и является фундаментальным понятием дистанционной геологии. Четкое определение и ясное понимание этого термина необходимо как для теоретических разработок, так и для правильного подхода к решению прикладных задач.

Термин «линеамент» введен в геологию в 1904 г. В. Хоббсом (W. H. Hobbs) задолго до появления не только космических снимков, но и аэрофотоснимков (АФС). Хотя В. Хоббс не дал вполне законченного, исчерпывающе точного определения линеамента, его формулировки, разъяснения и приводимые им примеры содержат все необходимые компоненты для разработки такого определения:

линеаменты — реально существующие образования на земной поверхности в виде спрямленных или линейно организованных элементов ландшафта;

линеаменты — отражение погребенных линейных структур земной коры, в том числе фундамента;

линеаменты характеризуются определенной упорядоченностью, образуя единые системы и повторяющиеся рисунки на земной поверхности;

линеаменты характеризуются многогранговостью — на картах разного масштаба выделяются линеаменты разного ранга.

Таким образом, В. Хоббс не только выявил существование на земной поверхности линеаментов разного ранга, но и показал их структурную предопределенность и подчеркнул характерное их свойство — организованность в закономерные системы. Эти представления вполне могут применяться при дистанционных исследованиях в геологии и в настоящее время.

Позднее с понятием «линеамент» оказалась связанной значительная терминологическая путаница, полностью не устраненная и на сегодняшний день. Развитие геотектоники, особенно учения о глубинных разломах, с одной стороны, и дистанционных методов в геологии — с другой, привело к расщеплению понятия «линеамент» — в геотектонике этим термином стали обозначать глубинные разломы глобального ранга, а в дистанционных исследованиях — линейные элементы самого разного ранга, дешифрируемые на МДС. Геотектоническое толкование термина «линеамент» достаточно прочно утвердилось в советской геологической науке. Геологический словарь (1978 г.) дает следующее определение: линеаменты — это «линейные или дугообразные структурные элементы планетарного значения, связанные в начальном этапе, а иногда и в течение всей истории с глубинными разломами».

С развитием дистанционных исследований появилось различное толкование выделяемых на АФС линейных объектов и соответственно, наряду с линеаментом, заменяющие его термины — линеар, аэрофотолинеамент, тополинеамент, топографические полосы, следы трещин и др. Это побудило И. Г. Гольбрайха, В. В. Забалуева, Г. Р. Миркина [33] ввести новое понятие — мегатрещиноватость — как совокупность линейных элементов рельефа, связанных с разрывами и тектонической трещиноватостью горных пород и хорошо различаемых на АФС и топографических картах крупных масштабов. Приставка «мега» указывает на значительно большие размеры выделяемых трещин по сравнению с макротрещинами, видимыми в обнажениях невооруженным глазом. Предложенный термин получил значительное распространение в советской геологической литературе, но одновременно вызвал и серьезную критику. Так, С. С. Шульц справедливо указал, что в данном случае наблюдаются не трещины и тем более не мегатрещины, а большей частью лишь прямолинейные отрезки небольших элементов ландшафта, связь которых с трещинами чаще непосредственно не устанавливается [49]. С появлением КС разного масштаба, на которых выделяются линейные элементы самого различного

ранга, термин «мегатрещиноватость» становится окончательно неприемлемым, так как выделяемые линеаменты сами требуют деления на микро-, мезо-, макро- и мегалинеаменты.

Появление КС вызвало новую волну интереса к линеаментам. Различному пониманию этого термина способствовало то обстоятельство, что дешифрируемые на мелко- и среднемасштабных КС линеаменты далеко не всегда соответствовали известным разрывным нарушениям, а во многих случаях они также с трудом отождествлялись и с объектами на земной поверхности. В. И. Макаров определил две крайние позиции исследователей [29]:

1) весьма осторожное отношение к линеаментам как к линейным элементам на КС, оторванным не только от геологической структуры, но и от ландшафтных элементов земной поверхности — фотолинеаменты, космолинеаменты, космографические линеаменты и др.;

2) свободное, априорное отождествление линеаментов с тектоническими разрывами, вплоть до замены термина «линеамент» тектонической терминологией — разрыв, разлом, трещина.

Многие советские исследователи придерживаются иной позиции, близкой к представлениям В. Хоббса, рассматривая линеаменты как линейные или линейно организованные элементы земной поверхности, прямо или косвенно отражающие особенности геологической структуры, в том числе глубинной.

Разработка и внедрение линеаментного анализа в практику геологических исследований настоятельно требуют четкого, однозначного понимания термина «линеамент», выяснения соотношения линеаментов и геологической структуры на разных глубинных уровнях, выработки основных критериев выделения и геологической интерпретации линеаментов. Подойти к достаточно полному и четкому определению этого термина можно только путем выявления реальной сущности линеамента как природного объекта и рассмотрения его основных свойств. Как реальные природные объекты линеаменты существуют в ландшафте земной поверхности — это линейные элементы земной поверхности, отражающие геологические структуры земной коры и сами отражающиеся на дистанционных материалах.

Использование этого термина для обозначения линейных элементов только на МДС, к тому же с конкретной привязкой к определенному виду последних (космо-, фото-, аэро-, тополинеаменты) логически и методически неверно, оно ведет к отрыву изображения от реального объекта и к определенной фетишизации данного дистанционного материала. Употребление же понятия «линеамент» непосредственно по отношению к геологическим структурам неизбежно приводит к неопределенности содержания этого понятия — линейные структуры земной коры очень разнообразны, их характер меняется на разных глубинах. В то же время соотношение ландшафтных линеаментов с

геологическими структурами и линейными изображениями на МДС являются важнейшими сторонами этого понятия.

Линеаменты характеризуются тремя основными свойствами: разноранговостью, транзитностью и организованностью.

Разноранговость заключается в существовании линеаментов разного масштаба, от локальных (десятки — сотни метров), выделяемых на крупномасштабных АФС, до глобальных (тысячи километров), выделяемых на сверхмелкомасштабных КС; при этом сочетания элементов одного ранга образуют элемент более высокого ранга.

Транзитность проявляется в прослеживании отдельных протяженных линеаментов и зон линеаментов без изменения ориентировки через разные генетические и возрастные категории рельефа и ландшафтные контуры, разные литофациальные и стратиграфические ассоциации пород, а часто также и через различные структурно-тектонические элементы — от локальных складок до геотектонических областей. При этом, конечно, не исключается существование согласных, граничных линеаментов, разделяющих разные категории ландшафта, рельефа и геологических структур [11].

Организованность линеаментов состоит в образовании ими закономерных систем, ориентированных по странам света (линеаментных зон, поясов), в эквидистантности (равноудаленности линеаментов одного ранга друг от друга), в образовании закономерностей сети (решетки) линеаментов.

Перечисленные свойства присущи именно совокупности линеаментов, невозможны (разноранговость, организованность) или необязательны (транзитность) для единичного линеамента и убедительно доказывают неслучайную тектонически обусловленную природу линеаментов. Их эндогенная природа однозначно проявляется в закономерном (при массовых замерах на значительных площадях) распределении их ориентировки, обусловленном общепланетарными ротационными напряжениями относительно оси вращения Земли.

На дистанционных материалах выделяют как прямолинейные, так и дугообразные линейные объекты. Термин «линеамент» следует закрепить именно за прямолинейными объектами, так как, во-первых, дугообразные линии при детализации обычно распадаются на прямолинейные элементы, во-вторых, для дугообразных линий не установлено четкой организованности в системы, зоны и т. д. и, в-третьих, линеаментный анализ в геологии рассматривают именно прямолинейные объекты. Линейные зоны геофизических полей (геофизические линеаменты) и высокосейсмичные линейные зоны (сейсмолинеаменты), очевидно, не относятся к рассматриваемому нами понятию.

Вышеизложенное позволяет перейти к определению линеамента, состоящему из основной формулировки и дополнения: линеамент — это прямолинейный элемент (или прямолинейно

организованные элементы) ландшафта поверхности Земли, отражающий линейные структуры земной коры, при этом совокупность линеаментов характеризуется разноранговостью, транзитностью, организованностью в системы.

Для совокупности линейных структур, выраженных сетью линеаментов, можно использовать термин «линеаментная трещиноватость», отражающий источник информации, т. е. линеаменты, выделяемые на МДС, и их эндогенно-трещинную природу. Следует подчеркнуть, что понятие «трещиноватость» используется в данном случае в самом общем виде — для обозначения проявленной в сети линеаментов современной делимости земной коры, обусловленной дизъюнктивами любого ранга, характера и глубинности.

1.2. ЛИНЕАМЕНТЫ НА МАТЕРИАЛАХ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК

Все линеаменты, наблюдаемые и дешифрируемые на МДС различного характера и масштаба и топографических картах, имеют определенное выражение в строении земной поверхности в виде прямолинейно организованных элементов ландшафта. Линеаментов, не выраженных в ландшафте, не существует. Под выражением линеаментов в ландшафте нами понимается достаточно четкое проявление естественной прямолинейности в структуре земной поверхности как в виде прямолинейных контрастных форм рельефа и четких границ почвенно-растительных ареалов, так и в виде трудноуловимых на местности прямолинейно организованных тонких особенностей почвенно-растительного покрова, зон повышенного увлажнения, развития специфических форм микрорельефа и т. д.

Существует представление о том, что некоторые дешифрируемые на КС объекты, в том числе линеаменты, это не столько фотоизображение реальных объектов земной поверхности, сколько результат проявляющегося на снимке взаимодействия электромагнитных волн диапазонов, используемых при съемке из космоса, с аномалиями электромагнитного, магнитного, теплового, гравитационного полей — так называемые «физиоблемы», по В. Ю. Зайченко, О. Л. Кузнецову, Г. П. Попсуй-Шапко (1981 г.). Подобные явления, вероятно, возможны, но пока не доказаны. Само существование линейных аномалий геофизических (и геохимических) полей вдоль крупных активных разломов не вызывает сомнений, но факт непосредственного запечатления на фотоснимках взаимодействия электромагнитного излучения Солнца и аномалий геофизических полей требует обоснования. Кроме того, следует учитывать, что значительные геофизические аномалии должны быть свойственны именно активным в настоящее время или в недавнем прошлом разломам, которые как зоны механических подвижек, повышенной трещи-

новатости и флюидопроводимости, развития геохимических аномалий и т. д. не могли не влиять на развитие ландшафта.

Линеаменты как природные образования проявляются в виде различных плановых геометрических рисунков: непрерывной прямой линии или прерывистых линий, лежащих на продолжении друг друга, или точечных образований, расположенных на одной прямой линии. В двух последних случаях в процессе обработки результатов дешифрирования следует объединять объекты, лежащие на одной прямой, в единый непрерывный протяженный линеамент. Широкополосные линеаменты, дешифрируемые на мелкомасштабных КС, образуются сложным рисунком различно, но закономерно ориентированных (параллельно, эшелонировано, кулисообразно, пилообразно) элементарных линеаментов. Такие полосы линеаментов при обработке результатов дешифрирования также следует объединять в единые зоны.

Необходимо подчеркнуть, что как непрерывные протяженные линеаменты, так и прерывистые цепочки линеаментов, прослеживаясь без изменения ориентировки через различные ландшафтные, геоморфологические, литофациальные ареалы, обычно выражаются разными элементами ландшафта. Так, например, лежащая на одной прямой цепочка линеаментов может быть выражена в пределах голоценовой аллювиальной аккумулятивной равнины прямолинейным отрезком русла, цепочкой старичных озер и т. д., а при переходе на более древнюю эрозионно-денудационную равнину — прямолинейным оврагом, уступом в рельефе, узким водоразделом, цепочкой холмов или карстовых воронок и т. д. Очень часто цепочки линеаментов выражаются сходными, но принадлежащими к разным объектам элементами ландшафта, например спрямленными участками разных рек и оврагов, относящихся к разным бассейнам.

Следует отметить, что проявление линеаментов на МДС, особенно на КС, часто обусловлено не столько самими хорошо различимыми на местности элементами ландшафта, сколько подчеркивающими их побочными явлениями, нередко имеющими сезонный характер или зависящими от времени суток. Так, небольшой уступ в рельефе может проявляться на КС не сам по себе, а благодаря цепочке осыпей породы характерной окраски или тени в соответствующее время суток. Микроформы рельефа — мелкая расчлененность, бугристость и т. д. — при определенных условиях способны создать значительные фотоаномалии на мелкомасштабных КС, обуславливая, например, повышенное затемнение при низком стоянии солнца или повышенную заснеженность зимой в малоснежных районах. Эти обстоятельства диктуют необходимость использования при дешифрировании линеаментов разносезонных и снятых в разное время суток КС.

К линеаментам с трудноопределимым конкретным выражением в ландшафте относятся главным образом мелкие линеа-

менты на АФС, представленные малоконтрастными для наземных исследований ландшафтными особенностями, и крупные широкополосные линеаменты, дешифрируемые на мелкомасштабных КС. В первом случае ландшафтная «неопределяемость», «неуловимость» линеаментов при наземных наблюдениях объясняется их выражением в виде весьма тонких отличий в характере почвенно-растительного покрова, например полосами более густой травянисто-кустарничковой растительности, небольшими изменениями в окраске растительности. Сложнее обстоит дело во втором случае — крупные региональные и трансрегиональные линеаменты платформенных территорий обычно выделяются на мелкомасштабных КС в виде сравнительно широких полос иного фототона; часто они не известны по геолого-геофизическим материалам и, по-видимому, соответствуют дизъюнктивам глубокого заложения. Проявление таких линеаментов на КС обусловлено эффектом естественной генерализации, но конкретные элементы ландшафта, выражающие линеамент, остаются неясными. Некоторые исследователи [41] считают, что подобные линеаменты приурочены к зонам растяжения — каналам циркуляции флюидов и вертикальной миграции теплового потока и могут выражаться повышенным увлажнением почвы и более ранним весенним протаиванием снежного покрова. Вероятно также, что выражение таких линеаментов связано со сложной комбинацией различных линейно организованных элементов ландшафта, тем более что эти весьма протяженные линеаменты пересекают различные ландшафтные ареалы. Этот вопрос несомненно касается проблемы «рентгенокопичности» мелкомасштабных КС и «просвечивания» на них глубинных дизъюнктивных структур.

В ряде случаев при дешифрировании и последующей структурно-тектонической интерпретации линеаментов возникает необходимость определения характера их выражения в ландшафте.

Во-первых, существует и развивается ландшафтно-индикационный метод дешифрирования и интерпретации линеаментов, основанный на анализе природно-территориальных комплексов различного ранга и опознавании структурно-геологических объектов по природным индикаторам.

Во-вторых, определенное знание ландшафтного выражения линеаментов необходимо при отделении эндогенно обусловленных линеаментов, связанных с геологическими структурами, от линий чисто экзогенного или техногенного происхождения. Здесь следует, однако, заметить, что существование чисто экзогенных линеаментов весьма проблематично. Необходимо иметь в виду, что рельеф земной поверхности — это результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, протекающих на определенном геологическом субстрате. Следовательно, линейные формы рельефа, а также другие контролируемые рельефом элементы ландшафта являются результатом обработки экзо-

генными процессами линейных элементов геологического субстрата, активизированных эндогенными (тектоническими) процессами. По существу, в платформенных условиях только на щитах видным на МДС линеаментам могут соответствовать трещины и разрывы, непосредственно наблюдающиеся на земной поверхности, но и они обработаны и «подчеркнуты» экзогенными процессами. Во всех остальных случаях даже при небольшой мощности осадочного покрова (первые метры — десятки метров) линеамента проявлены в ландшафте как экзогенные образования.

Механизм экзогенного проявления линеamentной трещиноватости в ландшафте может быть различным и зависит от характера ведущего экзогенного фактора данной ландшафтной зоны. В качестве наиболее распространенных следует отметить процессы активной фильтрации поверхностных и грунтовых вод по зонам трещиноватости (разуплотнения), процессы выветривания и выщелачивания, образования «первичных борозд» и ложбин стока, образование зон разгрузки подземных вод в виде источников, образование аномальной минерализации и литологических неоднородностей (ожелезнения, цементации и др.). Эти и другие процессы приводят к образованию спрямленных элементов рельефа (ложбины, уступы, карстовые и суффозионные образования) и гидросети (контролируемые зонами трещиноватости спрямленные и «ломанные» участки русел и бортов долин, спрямленные участки берегов озер и морей), а также вызывают развитие прямолинейных границ и полос различных растительных ассоциаций, зон наилучшего развития или угнетения растительности, чутко реагирующей на повышенное (пониженное) увлажнение, изменение минерализации грунтовых вод и т. д. В свете изложенного вопрос об экзогенных или эндогенных линеаментах теряет смысл — все линеамента, наблюдаемые в ландшафте и на МДС, являются результатом экзогенного проявления линеamentной трещиноватости.

Что же касается естественных линейных образований нетектонической природы, то можно предположительно выделить следующие случаи:

прямолинейность русел рек и ложбин стока может обуславливаться значительным и однообразным уклоном поверхности (моноклиальные равнины, наклонные подгорные равнины);

прямолинейность береговых линий озер и морей может быть результатом деятельности ветров или вдольбереговых течений одного господствующего направления;

прямолинейные золотые формы и цепочки этих форм обычно являются результатом деятельности ветров господствующего направления;

прямолинейность вытянутых форм (и их цепочек) ледникового и флювиогляциального генезиса (экзарационные формы, озы и др.) обусловлена направлением движения ледника и ледниковых вод;

в пределах криолитозоны (мерзлотного рельефа) прямолинейные русла водотоков и берега озер, прямоугольная форма озер обуславливаются криогенной (мерзлотной трещиноватостью).

Необходимо, однако, подчеркнуть, что во всех этих случаях наблюдающиеся в ландшафте и на МДС спрямленные элементы могут быть и, как правило, являются линеаментами, отражающими линеamentную трещиноватость. Так, например, известны примеры согласной ориентировки озовых гряд и грядово-мочажинных комплексов болот с направлением трещин в коренных породах. В области мерзлотного рельефа особенности самой криогенной трещиноватости (ориентировка и местная густота) могут быть предопределены тектоногенной трещиноватостью, что и наблюдается в действительности. По-видимому, единственным экзогенным агентом, слабо связанным с эндогенными процессами, является ветер, поэтому многие золотые формы, например протяженные прямолинейные параллельные песчаные дюны аридных пустынь, вероятно, не связаны с линеamentной трещиноватостью; однако известны случаи, когда золотые песчаные гряды имеют четкую структурную приуроченность.

5261
Достоверность эндогенно-трещинной природы дешифрируемых на МДС линеamentов проверяется наличием характерных свойств, присущих совокупности линеamentов,— их транзитности и организованности в системы, зоны, решетки.

К материалам, используемым для дешифрирования линеamentов, относятся топографические (гипсометрические) карты и материалы дистанционных съемок — аэрофотоснимки и космические снимки.

Топографические карты до появления МДС были первым материалом, использованным геологами для выявления и изучения линеamentов. В результате анализа картографических материалов в начале XX в. возникло само понятие «линеament» и начали проводиться исследования закономерностей строения сети линеamentов и их связи с геологической структурой земной коры. В настоящее время, несмотря на широкое внедрение в практику геологических исследований принципиально новых материалов — вначале АФС, затем КС, значение топографических карт как материала для изучения линеamentов в известной мере сохранилось. Хотя топокарты не являются результатом дистанционной съемки, они обладают некоторыми свойствами МДС: 1) как и МДС, они дают изображение земной поверхности в разных масштабах сверху, «с высоты», хотя это изображение является результатом наземных работ, 2) современные топокарты составляются на основе АФС, а в последние годы — КС, т. е. содержат часть информации, запечатленной на этих материалах, 3) так же как МДС, топокарты не являются результатом собственно геологических исследований, т. е. привлекаются геологами как уже готовый материал, созданный негеологическими

организациями и негеологическими методами. Имеющееся у некоторых геологов предубеждение против топографических карт как материалов «субъективных», содержащих ошибки топографов и уступающих МДС в достоверности изображения, необоснованно: во-первых, государственные топокарты создаются в результате высокоточных кондиционных наземных съемок с обязательным использованием МДС, во-вторых, возможные ошибки на топокартах связаны обычно с определением высотных отметок, а не планового рисунка, наиболее важного для дешифрирования и изучения линеаментов.

Безусловно, не обладая важнейшими специфическими свойствами МДС, топографические карты характеризуются некоторыми особенностями, весьма полезными при выделении, морфометрической обработке и изучении линеаментов:

топокарты всегда дают точное плановое изображение местности в определенной системе координат — для МДС всегда требуется специальная трансформация снимков;

достоинством топокарт является количественная высотная характеристика рельефа в изогипсах и отдельных высотных отметках;

на топокартах исключительно четко вырисовываются контрастные прямолинейные формы и элементы рельефа и гидросети (уступы, гряды, цепочки останцев, бровки террас, овраги, балки), а также некоторые спрямленные элементы рельефа, плохо дешифрируемые на МДС (узкие прямолинейные водоразделы, прямолинейные перегибы склонов).

Следовательно, топографические карты можно и целесообразно использовать при изучении линеаментов.

Прежде всего топокарты необходимо использовать для точной привязки линеаментов, лучше всего путем перенесения на нее сети линеаментов, отдешифрированных на МДС. Точный и постоянный для всей площади трапеции масштаб топокарт позволяет получить достоверные параметры линеаментов — их длину и особенности ориентировки по странам света, необходимые для составления достоверных морфометрических карт линеаментов. При дешифрировании мелкомасштабных КС, на которых уже заметно искажающее влияние шарообразности Земли, сопоставление с топокартами (с учетом их проекции) позволяет убедиться в действительной прямолинейности (или иной форме) выделенных линеаментов.

Изображение на топографических картах высотной характеристики и пластики рельефа в изогипсах позволяет оперативно определить выражение в ландшафте части отдешифрированных на МДС линеаментов, особенно тех из них, которые выражены контрастными формами рельефа, провести первичную разработку линеаментов по характеру их выражения в ландшафте. Это, в свою очередь, позволяет перейти к качественной оценке новейшей тектонической активности линеаментных

структур. Определение гипсометрического положения поверхностей, разделяемых линеаментами, позволяет наметить поднятые и опущенные новейшими тектоническими движениями блоки. Гипсометрические карты — незаменимый материал для структурно-геоморфологического (морфоструктурного) анализа территории, необходимого для неотектонического районирования.

Крупно- и среднемасштабные топографические карты часто используют совместно с АФС и крупномасштабными КС для дешифрирования линеаментов. На крупно- и среднемасштабных топокартах, составленных на основе АФС, хорошо выделяются такие линеаменты, как спрямленные отрезки гидросети, крупные полосы растительности, прямолинейные границы лесов, болот, цепочки озер и прямолинейные берега озер и т. д. и, особенно, контрастные формы и элементы рельефа — прямолинейные уступы, обрывы, узкие водоразделы и т. д. И. Г. Гольбрайх, В. В. Забалуев и Г. Р. Миркин неоднократно сравнивали различные спрямленные элементы на топокартах и АФС и установили, что в зависимости от расчлененности рельефа на топографических картах выделяется от 70 до 100 % спрямленных элементов, видимых на АФС [33]. Наилучшие результаты дешифрирования линеаментов по топографическим картам достигаются для хорошо расчлененного, например эрозионно-денудационного, рельефа; в условиях плоского слабо расчлененного аккумулятивного рельефа топокарты не могут конкурировать с МДС. На мелкомасштабных топокартах в результате искусственной (технической) генерализации теряются линейные элементы микрорельефа и почвенно-растительного покрова.

Появление и внедрение в геологическую практику АФС положило начало использованию дистанционных снимков для дешифрирования и изучения линеаментов. Принципиальным отличием АФС от использовавшихся ранее топографических карт является естественное изображение земной поверхности на фотоснимке в структуре рисунка и фототонах изображения, что позволяет выделять как мелкие детали ландшафта, так и их характерные сочетания. В геологически обнаженных районах АФС позволяют непосредственно видеть геологический субстрат и его структуру, в том числе разрывы и зоны трещин.

Достоинством АФС при изучении линеаментов является не столько увеличение общего числа дешифрируемых линеаментов, сколько возможность дешифрирования таких линеаментов, которые не отражаются на топокартах. К ним относятся, во-первых, непосредственно видимые на АФС разрывы и зоны трещиноватости горных пород, а во-вторых, линеаменты, образованные тонкими различиями в структуре почвенно-растительного покрова и микроформ рельефа. Это позволяет использовать АФС для дешифрирования линеаментов в условиях плоского нерасчлененного аккумулятивного рельефа, очень харак-

терного для нефтегазоносных территорий в любых ландшафтно-климатических зонах.

Кроме того, преимущество АФС заключается в возможности получения снимков в широком диапазоне спектров электромагнитных волн, от видимых и инфракрасных до радиолокационных, что позволяет существенно расширить возможность дешифрирования линеаментов.

Наконец, аэрофотосъемка принципиально дает возможность получать разновременные снимки — для разных сезонов года и для разного времени суток, что также позволяет увеличить дешифрируемость линеаментов.

Появление мелкомасштабных высотных АФС, вплотную приближающихся по масштабу к крупномасштабным КС, благодаря большей обзорности существенно увеличило возможности изучения линеаментов. Внедрение в геологические исследования космической информации (КС) открыло принципиально новые возможности для выявления и анализа линеаментов и изучения линеаментной трещиноватости. Эти возможности определяются особыми, специфическими свойствами КС — разномасштабностью, обзорностью, естественной генерализацией и «рентгеноскопичностью», которые делают КС уникальным инструментом геологических исследований, не имеющим аналогов в прошлом.

Прежде всего необходимо отметить, что КС в полной мере обладают достоинствами АФС — естественностью фотоизображения, широким спектральным диапазоном изображения, возможностью получения разновременных снимков, причем практически необходимая повторяемость съемок оказалась возможна именно для космических съемок, проводимых с постоянно функционирующих искусственных спутников Земли.

Время съемки КС имеет важное, часто решающее значение для дешифрирования линеаментов. По многочисленным данным практики дешифрирования хорошо известно, что на КС, снятых в разные сезоны года и разное время дня, выделяется различный рисунок линеаментов. Причем для различных территорий существуют оптимальные сезонные и суточные сроки съемок, определение которых для данной конкретной территории возможно только опытным путем — специальным просмотром разновременных КС. Так, по мнению ряда исследователей, динамика весеннего таяния снежного покрова и его распределение могут обозначать зоны повышенного теплового потока в земной коре, связанные с разрывами и зонами трещиноватости. Как считает Л. Н. Розанов [41], активное влияние теплового потока на проявление линеаментов на КС хорошо выражено на севере Западной Сибири на ранневесенних снимках — даже незначительное увеличение теплового потока в зоне раздвиговых разломов в начальный период оттепели обеспечивает дополнительное подтаивание снежного покрова, что при резко различ-

ной отражательной способности снега и воды обуславливает достаточно контрастное проявление указанных зон на КС, особенно в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Следует подчеркнуть, что для одной и той же территории разные линейные элементы могут проявляться разными сезонными явлениями. Поэтому при дешифрировании сети линейных элементов не следует ограничиваться только выбранными «оптимальными» снимками, а проводить дешифрирование на ряде разносезонных снимков.

Время суток также может иметь весьма существенное значение для дешифрирования линейных элементов, обусловленное главным образом высотой стояния солнца и распределением теней на земной поверхности. На утренних и вечерних снимках, при низком стоянии солнца, обычно более четко прорисовывается сеть контрастных элементов рельефа, образующих значительные тени, четко видимые на КС. При этом особенно важно, что на КС часто проявляются мелкие формы рельефа — небольшие уступы, гряды, овраги и зоны распространения микроформ рельефа — бугристость, мелкая расчлененность и т. д.

Специфические свойства КС — их обзорность, разномасштабность, явления естественной генерализации и «просвечивания».

Свойство обзорности состоит в возможности исследования сразу достаточно большой (в зависимости от масштаба) территории, что позволяет не только оперативно и уверенно выделять сетку линейных элементов разного ранга, но и проследить зоны линейных элементов, продолжения уже известных дизъюнктивов, определять соподчиненность и характер сочленения линейных элементов и их зон, соотношения линейных элементов с пликтивными структурами различного ранга. Обзорность КС естественно увеличивается с уменьшением масштаба и в наибольшей степени проявляется на мелкомасштабных КС, но и на КС среднего масштаба обзорность вполне достаточна для уверенного выделения закономерных сетей линейных элементов и прослеживания протяженных линейных элементов на достаточно большой территории, охватывающей значительные части нефтегазоносных бассейнов и даже целые бассейны. Наиболее распространенный размер кадра КС (18×18 см) хорошо соотносится с физиологией человеческого зрения, позволяя видеть все изображения одновременно [20].

Свойство разномасштабности состоит в возможности получения и изучения КС самых разных масштаба и степени разрешения. В отличие от АФС со сравнительно небольшим диапазоном масштабов КС могут иметь весьма различные масштабы — от сопоставимых с АФС до глобальных, охватывающих целиком видимую часть планеты. Вместе с АФС, через высотные АФС, КС образуют единый ряд разномасштабных МДС, несущих различную информацию, в том числе линейную, позволяющую проанализировать одну и ту же территорию на изображениях с различной разрешающей способностью и разной степенью генерализации.

Явление естественной генерализации заключается в слиянии мелких элементов ландшафта земной поверхности при уменьшении масштаба в более крупные фотоаномалии определенного рисунка и фототона. Топографические карты также имеют разные масштабы, однако с уменьшением их масштаба производится искусственная (техническая) генерализация изображения, при которой мелкие детали ландшафта безвозвратно утрачиваются. При естественной генерализации на КС тонкие черты рельефа вплоть до микроформ и почвенно-растительные элементы ландшафта не утрачиваются, а начинают проявляться в новом, обобщенном, генерализованном виде. Именно благодаря явлению естественной генерализации на КС изображаются линейные, кольцеобразные и площадные фигуры, образованные сложным, но закономерным сочетанием различных, в том числе мелких элементов ландшафта, которые практически не могут быть выявлены топографической съемкой.

Проявление линеаментов на МДС зависит от степени генерализации, т. е. масштаба. С увеличением масштаба (разрешающей способности) увеличивается количество линеаментов, как правило, уменьшается их длина, отдельные линеаменты «распадаются» на части, иногда меняется преимущественная ориентировка линеаментов. Линеаменты, видимые на мелко-масштабных КС как единое целое, на КС крупного масштаба обычно дешифрируются как зоны линеаментов, часто со сложной внутренней структурой, а на еще более крупномасштабных АФС эти зоны часто теряются. Широко распространенное представление о том, что при генерализации происходит просто суммирование мелких линеаментов, едва ли справедливо. К сожалению, специальных исследований закономерностей изменения рисунка линеаментной сети с изменением масштаба (степени генерализации) МДС почти не проводилось; некоторые данные по этому вопросу получены различными исследователями попутно при анализе сетей линеаментов для решения других задач. Поэтому «механизм» изменения линеаментной сети с изменением степени генерализации снимка остается далеко не ясным. Существуют указания на некоторые парадоксальные факты, например, что узлы повышенной плотности дизъюнктивов, по наземным наблюдениям, приходится на минимумы плотности линеаментов, дешифрируемых на КС, или что линеаменты, выделенные на среднемасштабных КС, в большинстве случаев не наблюдаются на крупномасштабных КС — их нельзя представить даже в виде более коротких линеаментов, разделенных промежутками, а наблюдаемые на их месте объекты не могут читаться в виде линейных образований.

Е. В. Акимова, А. М. Берлянт, И. К. Волчанская в 1976 г. провели сопоставление сети линеаментов, дешифрируемых на трансформированных крупномасштабных АФС, аэровысотных снимках, телевизионном среднемасштабном КС и про-

следили характер проявления линеamentной трещиноватости, обусловленной различием масштабов этих материалов. На КС выявились генеральные линии тектонических нарушений, отразились почти все известные разрывы и дополнительно выявлены ортогональные разрывы, но оперяющие разломы почти не выражены. Высотные снимки показали не только видимые, но и скрытые региональные разломы, трещины и зоны дробления. На крупномасштабных АФС выделяется множество малых спрямленных элементов всех направлений, а простирание основных разломов замаскировано системой мелких трещин, параллельных мелкой складчатости.

Л. В. Милосердова (1982 г.) исследовала зависимость параметров сети линеamentов (мегатрещиноватость) от масштаба дешифрируемых АФС при их искусственном увеличении (диапазон масштабов 1 : 10 000—1 : 100 000) и пришла к выводу, что с увеличением размера изображения (любыми способами) наблюдается:

- увеличение количества отдешифрированных линеamentов;
- отдельные линии распадаются на части и появляются новые линии, ориентированные в разных направлениях;
- уменьшается размер дешифрируемых линеamentов;
- изменяется преимущественная ориентировка линеamentов.

К интересному выводу пришла Е. В. Акимова (1981 г.), анализируя морфометрическую карту разности плотности линеamentов, полученную путем вычитания значений плотности линеamentов на картах, составленных при дешифрировании КС разного масштаба. Оказалось, что эффект генерализации при уменьшении масштаба в 5 раз аналогичен эффекту «усреднения» при разложении карты плотности линеamentов на фоновую и локальную составляющие. Плотность линеamentов мелкомасштабного снимка дает представление о «фоновой трещиноватости», а локальная составляющая обусловлена интенсивным развитием линеamentов протяженностью менее 5 км, дешифрирующихся на среднемасштабных КС и отсутствующих на мелкомасштабных КС. Е. В. Акимова предполагает, что участки скопления таких линеamentов приурочены к тектонически активным поднимающимся блокам.

По-видимому, изменение линеamentной сети при естественной генерализации с уменьшением масштаба МДС не сводится к простому «слиянию» или «суммированию» линеamentов, а представляет собой более сложное явление, отражающее особенности разноранговой линеamentной трещиноватости, вероятно, специфику полей локальной, региональной, планетарной трещиноватости. Этот вопрос, решение которого важно как в теоретическом, так и в прикладном отношении, несомненно требует постановки специальных исследований.

С явлением естественной генерализации связано явление «просвечивания» на КС глубинных структурно-тектонических элементов (рентгеноскопичность). Следует сказать, что в пер-

вые годы внедрения КС в геологические исследования этому явлению часто необоснованно придавалось всеобъемлющее значение — некоторые исследователи полагали, что на КС «просвечивает» весь погребенный структурный план земной коры, причем глубинность информации возрастает с уменьшением масштаба. Такое представление привело на практике к априорному отождествлению выделяемых на мелко- и среднемасштабных КС фотоаномалий с элементами глубинной структуры — на основе неправильно понятой «рентгеноскопичности» КС каждое потемнение или осветление фототона рассматривалось как поднятие, а каждый линеамент — как разлом.

Исследования последних лет показали, что явление «просвечивания» не имеет всеобщего характера и очень сложно, что требует весьма осторожного отношения к интерпретации фотоаномалий КС. Эффект «просвечивания» характеризуется выборочным проявлением на КС элементов глубинной структуры осадочного чехла, фундамента, мантии, активизированных в процессе новейшего тектогенеза в соответствии с особенностями поля новейших напряжений литосферы. Пассивные на новейшем тектоническом этапе глубинные структуры, в том числе нередко важнейшие, не «просвечиваются» на КС. Таким образом, картина «просвечивания» оказывается неполной и часто дает искаженное представление об истинных структурных планах глубинных уровней, что всегда необходимо учитывать при тектонической интерпретации результатов дешифрирования.

Итак, МДС разного масштаба содержат различную линеаментную информацию и не являются взаимозаменяемыми. Существует несколько «порогов» генерализации, разделяющих КС разного масштаба по характеру информации. Необходимо подчеркнуть, что именно комплексное использование МДС разной степени генерализации — принципиально новый, исключительно ценный источник информации при изучении линеаментной трещиноватости. Дешифрирование КС высокой степени генерализации позволяет с большой полнотой выделить сеть крупных линеаментов, в том числе ранее неизвестных, особенно на равнинных платформенных территориях. Анализ материалов более низкой степени генерализации позволяет определять внутренние структуры, характер оперения и сочленения крупных линеаментов в связи с особенностями их кинематики, уточнять характер парагенеза дизъюнктивных и пликативных структур, выделять зоны мезотрещиноватости.

Для проведения линеаментного анализа при нефтегеологических исследованиях с целью поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа достаточно МДС трех уровней генерализации:

среднемащтабные КС — для выделения сети крупных линеаментов;

крупномасштабные КС и высотные АФС — как основной материал для анализа разломной тектоники, зон трещиноватости;

крупномасштабные АФС — для выявления деталей строения продуктивной структуры.

До сих пор изучение разломной тектоники и трещиноватости горных пород проводилось в двух различных мало связанных направлениях — либо анализ крупных дизъюнктивов на большой территории, либо детальное изучение трещиноватости горных пород на ограниченных участках. Комплексное изучение данных МДС разного масштаба позволяет в значительной мере объединить оба направления, поставить вопрос об изучении иерархии трещин земной коры в ее полном объеме.

1.3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЛИНЕАМЕНТОВ

1.3.1. Основные вопросы геологического изучения линеаментов

Принципиальные вопросы линеаментного анализа в геологии — это определение общей геологической природы линеаментов и структурно-тектоническая интерпретация отдельных конкретных линеаментов, дешифрируемых на различных МДС. Ответы на эти вопросы в равной мере необходимы для постановки и решения как общетеоретических, так и различных прикладных задач дистанционной геологии. Рассмотренные выше специфические свойства совокупностей линеаментов — их транзитность, организованность в системы и зоны, эквидистантность — убедительное доказательство неслучайной, тектоногенно-трещинной их природы, что позволяет рассматривать закономерную сеть линеаментов как отражение линеаментной трещиноватости земной коры, а отдельные линеаменты — как проявление дизъюнктивных структур, нарушающих сплошность горных пород.

Однако, если тектоногенно-трещинная природа линеаментов в целом не вызывает сомнений, то отражаемые ими конкретные дизъюнктивные структуры земной коры, их характер, кинематический тип, глубина заложения, возраст и т. д. остаются далеко не ясными и до сих пор служат предметом споров. Первоначальные предположения о том, что линеаментам повсеместно соответствуют разломы, известные или легко устанавливаемые геолого-геофизическими исследованиями, не подтвердились.

В то же время выявились сложные, неоднозначные соотношения линеаментов с дизъюнктивной тектоникой, отражение линеаментами различных дизъюнктивных структур на разных глубинных уровнях, в том числе зон безамплитудной трещиноватости горных пород. Сложившееся положение привело к тому, что некоторые исследователи считают решение вопроса о природе линеаментов в настоящее время невозможным, что этот вопрос может быть решен только после построения общей

теории тектоносферы. Между тем к настоящему времени накоплен большой материал по общему строению линейamentной сети Земли и отдельных регионов, соотношению линейamentов с дизъюнктивными структурами на разных глубинных уровнях и со структурой геофизических полей. Устанавливаются важные закономерные связи линейamentов с планетарной трещиноватостью, новейшими тектоническими движениями, новейшей и современной сейсмичностью.

Проблема геологической природы линейamentов, дешифрируемых на КС, в последние годы неоднократно рассматривалась в советской геологической литературе. Были составлены и проанализированы обзорные карты линейamentов отдельных регионов и территории СССР в целом, проведены исследования по сопоставлению сети линейamentов различных регионов с геолого-геофизическими материалами, а также специальные целенаправленные исследования по глубинной разноразмерной структурно-тектонической интерпретации линейamentов на геофизических полигонах.

В общегеологическом плане проблема генезиса и геологической природы линейamentов рассмотрена в работах В. Г. Трифонова и др. [15], В. И. Макарова [29], О. М. Борисова и А. К. Глуха (1982 г.), Я. Г. Каца и др. [22], Д. М. Трофимова и др. [8]. В этих работах определены основные аспекты проблемы и поставлены некоторые вопросы, решение которых необходимо для понимания роли линейamentной трещиноватости в структуре и геодинамике литосферы, а именно:

общий характер геологических структур, формирующих линейamentную трещиноватость литосферы, глубинность их заложения, соотношение линейamentов с разрывными нарушениями, известными по геолого-геофизическим данным;

пространственно-временные закономерности развития линейamentной трещиноватости — время заложения линейamentных структур, роль новейшей тектоники в развитии линейamentной трещиноватости, связь линейamentной трещиноватости с сейсмичностью, соотношение линейamentной и планетарной трещиноватости;

роль и место линейamentной трещиноватости в общей геологической структуре и геодинамических процессах, в том числе структурно-кинематическая характеристика линейamentных структур, соотношение и парагенетическая связь линейamentной трещиноватости, с пликативными структурами, отражение в линейamentной трещиноватости общей геодинамики литосферы Земли, в том числе кинематики тектоники плит.

Перечисленные вопросы несомненно имеют важнейшее значение для общегеологического анализа линейamentной трещиноватости, а некоторые из них — и для решения прикладных геологических задач. Следует, однако, сразу же подчеркнуть, что структурно-тектоническая интерпретация линейamentов в нефтегазовой геологии требует особого подхода, в некоторых от-

ношениях отличающегося от установившегося в исследованиях общегеологического характера.

Прежде всего необходимо отметить, что основные работы по исследованию общегеологической природы линеаментов имеют региональный и межрегиональный характер и базируются на использовании мелкомасштабных МДС — телевизионных и сканерных изображений («Метеор») и в меньшей мере — среднemasштабных КС («Салют», «Лэндсат»). Увлечение мелкомасштабными высокогенерализованными КС в исследованиях общегеологического характера понятно и оправданно, но оно не отвечает потребностям нефтегазовой геологии. В то же время анализ геологической природы линеаментов, выделяемых на крупномасштабных КС и АФС, наиболее информативных при решении многих нефтегазогеологических задач, проводится в недостаточном объеме.

Исследование геологической природы линеаментов в нефтегазогеологических аспектах должно проводиться с учетом особенностей геологического строения нефтегазоносных территорий и характера задач, решаемых нефтегазовой геологией.

Так как большая часть нефтегазоносных бассейнов приурочена к платформам и передовым прогибам, характеризующимся большой мощностью осадочного чехла, слабой геологической обнаженностью, общей равнинностью рельефа, а на платформах — также и относительно слабым проявлением новейших и современных тектонических движений, то для нефтегазовой геологии важна структурно-тектоническая интерпретация линеаментов именно для этих геолого-тектонических обстановок.

Так как одному и тому же линеаменту на разных глубинно-стратиграфических уровнях соответствуют различные по характеру проявления структуры, то для решения задач нефтегазовой геологии важно не столько выявление геологической природы линеаментов вообще, сколько прогнозирование дизъюнктивной структуры на определенном уровне. Это обуславливает необходимость четкой нацеленности структурно-тектонической интерпретации линеаментов на определенный (в зависимости от поставленной задачи) глубинно-стратиграфический уровень — поверхность фундамента, осадочный чехол в целом, отдельные нефтегазоносные (перспективные) комплексы, конкретный продуктивный пласт (или покрывка).

При нефтегазогеологических исследованиях необходимо изучение геологической природы и структурно-геологическая интерпретация линеаментов всех рангов, отражающихся на МДС различных масштаба и степени генерализации — от крупномасштабных АФС до мелкомасштабных КС. Линеаментная трещиноватость, проявляющаяся на МДС разной степени генерализации, несомненно имеет существенно разный характер: линеаменты разного ранга отражают различные дизъюнктивные структуры и их изучение может быть использовано для решения нефтегазогеологических задач.

При нефтегазогеологических исследованиях совершенно недостаточно чисто дизъюнктивная интерпретация линеаментов — необходимо изучение роли и места и соответствующих линеаментам дизъюнктивов в общей геологической структуре. Особенно важно изучение соотношения линеаментов с пликативными структурами разных рангов (соскладчатая трещиноватость, парагенез дизъюнктивных и пликативных структур, независимость линеаментных структур от складок и т. п.), что позволяет ставить и решать ряд задач.

Наконец, в нефтегазовой геологии исключительно важное значение имеет геодинамическая характеристика отражаемых линеаментами дизъюнктивных структур, особенно их флюидопроводящие (или экранирующие) свойства, связанные с новейшей и современной кинематикой дизъюнктивов, развитием новейших и современных полей деформации и полей напряжения в земной коре (осадочной толще).

Одно из наиболее перспективных направлений — прогнозирование по дистанционным материалам с последующей проверкой наземными геолого-геофизическими методами малоамплитудных разломов и зон безамплитудной трещиноватости (разуплотнения) в пределах месторождения (перспективной площади) на уровне продуктивного пласта. Информация такого рода может быть широко использована при поисках, разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа.

Геологическую природу линеаментов с учетом изложенных выше соображений целесообразно рассматривать в трех аспектах:

- 1) геологическая природа отдельных линеаментов и линеаментных зон — как отражение дизъюнктивных структур земной коры разного ранга и характера;
- 2) геологическая интерпретация совокупности линеаментов — как поля линеаментов, отражающего разноранговые поля деформаций и напряжений земной коры;
- 3) генетическая связь линеаментов и линеаментных структур с общей геологической структурой, особенно пликативными структурами различного ранга.

1.3.2. Геологическая интерпретация линеаментов

Исследование геологической природы линеаментов и первые попытки их конкретной геологической интерпретации проводились задолго до появления космической информации, по крайней мере со времени появления в начале XX в. самого термина «линеамент». В более поздних работах (50—60-е гг.) исследования осуществляются уже с целью прогнозирования разрывных нарушений и решения других прикладных задач.

Крупные линеаменты, выраженные на топографических картах достаточно контрастными формами рельефа и элементами гидросети, интерпретировались при структурно-геоморфологи-

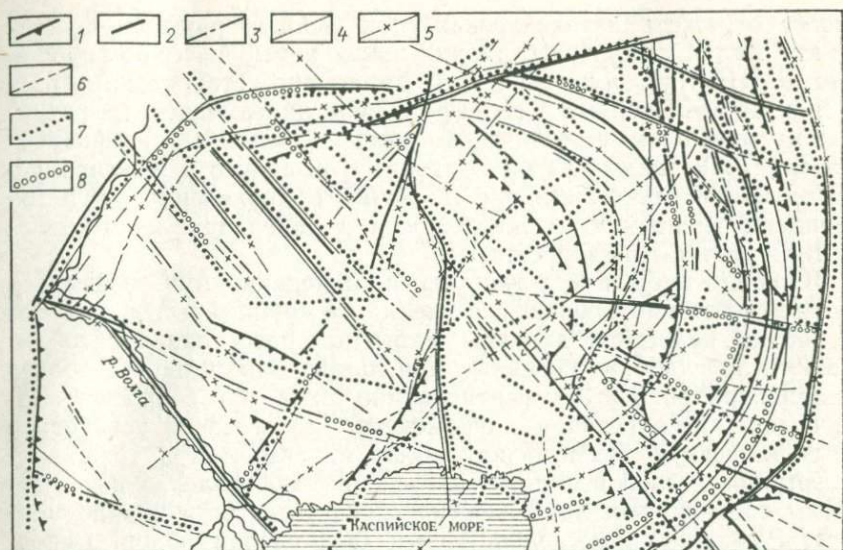


Рис. 1. Схематическая карта разломов глубокого заложения Прикаспийской впадины по структурно-геоморфологическим и геофизическим данным [7] (с упрощением).

Линейные тектоморфоструктуры, предположительно соответствующие разломам глубокого заложения, выраженные в рельефе: 1 — уступами и отчетливыми перегибами поверхности, 2 — долинами рек, 3 — цепочками однозначно ориентированных форм рельефа и резкими геоморфологическими границами; разломы, намеченные по геофизическим данным, однозначно показанные на нескольких независимо составленных тектонических схемах: 4 — на трех и более, 5 — на двух, 6 — на одной; 7 — разломы, предполагаемые по данным дешифрирования КС; 8 — предполагаемые продолжения разломов глубокого заложения

ческих исследованиях как разломы, что в той или иной мере подтверждалось геолого-геофизическими исследованиями. Однако более внимательный анализ показал достаточно сложное соотношение линеаментов, трассируемых на топокартах четкими геоморфологическими признаками, с разломами глубокого заложения, выявленными сейсмическими работами (корреляционный метод преломленных волн) и (или) отражающимися в гравитационном и магнитном геофизических полях. Так, по результатам современных морфоструктурных исследований Л. Б. Аристарховой [7] в условиях геологически закрытой платформенной равнины Прикаспийской впадины с глубоко погруженным фундаментом выявлены разные случаи соотношения крупных линеаментов (линейных тектоморфоструктур, по Л. Б. Аристарховой) с известными по геофизическим данным разломами фундамента. Большинство линеаментов соответствует однозначно выделенным разломам, но для части линеаментов разломов не установлено, а значительная часть (35 %) достоверно установленных разломов не выражена в рельефе (рис. 1). Л. Б. Аристархова высказывает предположение, что линеаменты, не подтвержденные геофизическими материалами,

могут отражать активизированные новейшие разломы фундамента малой амплитуды, плохо улавливаемые на сейсмопрофилях КМПВ; предполагается, что достоверно установленные разломы, не выраженные в рельефе в виде линеаментов, не активны на новейшем тектоническом этапе — времени рельефообразования. Названный автор приходит к выводу о решающей роли новейших тектонических движений в проявлении разломов фундамента на земной поверхности в виде спрямленных элементов рельефа и гидросети.

С внедрением в геологические исследования АФС появилась возможность наблюдения и изучения на крупномасштабных материалах целостной картины многочисленных линеаментов, в том числе слабо выраженных в рельефе. Это позволило более целенаправленно и аргументированно подойти к вопросу геологической интерпретации линеаментов, в том числе установить количественную связь между сетью линеаментов и трещинно-разрывной сеткой в пластах на основе сопоставления роз-диаграмм ориентировок тектонической трещиноватости и линеаментов. Различными исследователями был сделан общий вывод, что дешифрируемые на АФС линеаменты являются отражением различных по величине и характеру разрывных нарушений — отдельных крупных трещин, полос повышенной трещиноватости, разломов.

Появление и внедрение в геологические исследования разномасштабных КС открыло новый этап в изучении геологической природы линеаментов: с одной стороны, оно чрезвычайно расширило возможности выделения и изучения линеаментов и привлекло к ним внимание широкого круга геологов, с другой, — поставило перед исследователями ряд совершенно новых вопросов. Для выяснения геологической природы и соответствия разломам дешифрируемых на КС линеаментов были проведены специальные исследования преимущественно с использованием мелкомасштабных, реже среднемасштабных КС. Материалы и выводы этих исследований, проведенных в различных геолого-структурных обстановках, достаточны, чтобы сделать некоторые заключения.

Первые исследования привели к неожиданному выводу — большинство линеаментов не является отражением крупных разрывов, картируемых в приповерхностных горизонтах или установленных геолого-геофизическими исследованиями на более глубоких уровнях, а многие известные разломы не проявляются или слабо проявляются на КС. Так, Л. М. Расцветаев [38], проанализировав линеаментную сеть Кавказа, установил, что совпадения линеаментов и известных дизъюнктивов наблюдаются лишь в отдельных случаях и составляет скорее исключение, чем правило. В то же время он отмечает, что по многим линеаментам выявляются ориентированные вдоль них системы тектонических трещин или мелких разрывов, а в отдельных случаях удается установить соответствие линеаментов глубин-

ным разломам по комплексу геолого-геофизических данных. Автор приходит к выводу, что только выявления линеаментов не достаточно для прослеживания геологических разрывов и что сеть линеаментов является интегральным отражением наиболее общего плана трещиноватости литосферы.

Позднейшие исследования, сопровождавшиеся целенаправленным анализом и переинтерпретацией геофизических материалов и структурных карт, позволили выявить значительно большее соответствие линеаментов достоверно установленным или предполагаемым дизъюнктивам. По данным исследований, проведенных в различных регионах, большая часть (или даже практически все) дешифрируемых на мелко- и среднемасштабных КС линеаментов так или иначе «читается» на геологических и геофизических картах и схемах, совпадая либо с ранее установленными разломами (полностью или частично), либо с дизъюнктивными нарушениями, предполагаемыми по характерному рисунку геофизических полей, стратонзогипс, изопахит. Большая часть разломов, надежно закартированных геолого-геофизическими методами, отражается в виде линеаментов на КС. Тем не менее почти во всех работах отмечается, что для части линеаментов не удается установить соответствующие им структуры, а часть известных разломов не выражена на КС в виде линеаментов.

Подобные соотношения линеаментов и дизъюнктивных структур установлены в разных регионах страны, в том числе на Непском своде Сибирской платформы, в Енисей-Хатангском прогибе, в Западной Сибири, на трапповом плато Восточной Сибири, в Прикаспийской низменности, на Мангышлаке и в других районах.

Проведение специальных целенаправленных геофизических работ позволило с большей уверенностью судить об отражаемых линеаментами структурах на разных глубинных уровнях. На Курском полигоне, в пределах Воронежской антеклизы с глубиной залегания кристаллического фундамента 50—250 м, проведены специальные геофизические исследования с целью геологической интерпретации линеаментов [16]. Первоначальное сопоставление линеаментов, отдешифрированных по среднемасштабным КС («Лэндсат»), со структурными картами фундамента и осадочного чехла подтвердило только 6—8 % космической информации; но уже при переинтерпретации геофизических материалов сходимость возросла до 23 %. Специальные целенаправленные геофизические исследования — электро-разведочные и магниторазведочные профили масштаба 1:500 000 — полностью подтвердили все линеаменты как разрывные нарушения небольшой амплитуды по фундаменту с малоамплитудными смещениями или обширными зонами трещиноватости в осадочном чехле (рис. 2).

В. С. Милеев и Ю. В. Юнаковская в 1981 г. провели специальные исследования по выяснению геологической природы Са-

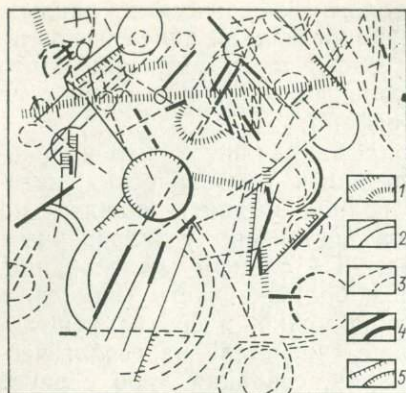


Рис. 2. Схема дешифрирования КС Курского полигона (прямолинейные и дугообразные элементы дешифрирования) [16] (с изменениями).

1 — линейные зоны; линейные: 2, 3 — дешифрируемые соответственно уверенно и неуверенно, 4 — подтвержденные геолого-геофизическими данными, 5 — совпадающие с неотектоническими дислокациями (по Г. И. Раскатову)

рысу-Балхашского линейного элемента, дешифрируемого на КС, но не находящего отражения в региональной геологической структуре. Целенаправленный комплекс геолого-геофизических исследований показал, что зона линейного элемента проявлена в региональном и локальном гравитационных полях и что она становится определяющей структурой на более глубоких уровнях (с глубин 2—3 км) и уверенно прослеживается по геофизическим данным до глубин 6—8 км. Соответствующая линейному структуре разграничивает блоки земной коры различного состава и мощности.

Следует особо отметить наблюдаемые многими исследователями широкополосные линейные элементы неопределенной природы, дешифрируемые только на КС высокой степени генерализации и имеющие неясные проявления в ландшафте. Они выделены в Прикаспийской впадине В. Г. Прониным в 1980 г., на Мангышлаке [37], на Восточно-Европейской платформе [8], в Западной Сибири и Приуралья [41] и в других регионах. Соответствующие им дизъюнктивы, как правило, не были известны, но дополнительный анализ геолого-геофизических материалов во многих случаях позволил установить тесную связь этих линейных элементов со структурой фундамента — они, по-видимому, отражают крупные разграничения (разломы) фундамента, слабо активизированные на новейшем тектоническом этапе.

Почти все исследователи подчеркивают, что линейные элементы, дешифрируемые на мелко- и среднемасштабных КС, отражают прежде всего значительные неоднородности глубинных горизонтов (поверхности Мохо, кристаллического фундамента) в виде линий раздела крупных тектонических зон, глубинных разломов или разломов небольшой амплитуды, которые и выявляются в первую очередь целенаправленными геофизическими исследованиями. В породах осадочного чехла и особенно в приповерхностных горизонтах линейным элементам соответствуют мало- и микроамплитудные дизъюнктивные нарушения, зоны повышен-

ного дробления или рассеянной трещиноватости, плохо улавливаемые традиционными геолого-геофизическими методами.

Целенаправленное изучение линеаментных структур неизменно показывает их различный характер на разных глубинно-стратиграфических уровнях, закономерное его изменение по разрезу — от разломов различной амплитуды по поверхности фундамента до флексур, малоамплитудных разломов и зон безамплитудной трещиноватости в различных горизонтах осадочного чехла. Это определяет необходимость многоуровневой структурной интерпретации линеаментов, рассмотренной И. Н. Капустиным, Е. С. Пржиялговским, Д. М. Трофимовым [21], имеющей исключительно важное значение для прикладных, в том числе нефтегазогеологических исследований.

1.3.3. Неотектоническая природа линеаментов

Практически все исследователи подчеркивают решающее значение новейших тектонических движений при проявлении глубинных структур в виде линеаментов. Этот вопрос требует особого рассмотрения.

Главное основание для признания новейшей тектонической активности линеаментной трещиноватости Земли — само проявление глубинных структур в виде линеаментов на земной поверхности и на МДС, ибо каков бы ни был механизм и характер этих проявлений, они требуют активного воздействия глубинных механических, гидрогеохимических и геофизических процессов на относительно короткоживущие компоненты ландшафта. Подтверждением этого положения служит непроявленность в виде линеаментов многих хорошо известных разломов, очевидно, пассивных на новейшем тектоническом этапе. Новейшее тектоническое происхождение или новейшая активизация линеаментных геологических структур достаточно определенно доказываются единством структурного плана неотектонических деформаций (в том числе дизъюнктивных) и планового рисунка линеаментной сети. В области новейшего орогенеза устанавливается тесная сопряженность линеаментов с молодыми складками основания, образующими единые структурно-динамические парагенезы различного характера [30].

Ряд исследователей отмечает, что в платформенных условиях многие линеаменты читаются на картах новейшей тектоники, в рисунке изолиний суммарных деформаций, а также большей частью хорошо выражены в вертикальной расчлененности рельефа — важнейшем геоморфологическом индикаторе новейших деформаций. Определенным доказательством проявления в линеаментной сети неотектонических, и прежде всего самых молодых тектонических, движений и структур земной коры служит единообразие рисунка линеаментов в смежных областях с различными структурой и историей геологического развития. Важным доказательством неотектонической природы линеа-

ментной сети является связь многих линеаментов с сейсмоактивными зонами. Как указывает В. И. Макаров [32], нельзя рассматривать линеаменты вне времени — они связаны с неотектоническими структурами, с новейшими блоками и плитами. Современная активность линеаментных структур проявляется при сопоставлении сети отдешифрованных линеаментов с материалами повторных нивелировок — в большинстве случаев, по данным М. С. Арабаджи и др. [6], В. Д. Скарятина (1986 г.), линеаменты характеризуются высокими градиентами вертикальной составляющей современных движений земной коры.

Неотектоническую природу выражения глубинных структур в виде линеаментов можно считать установленной. В связи с этим возникает ряд важнейших вопросов: что представляют собой активные в новейшее время линеаментные структуры, в каком соотношении они находятся со сложившимися древними структурными планами и в какой мере сеть линеаментов может быть использована для выявления дизъюнктивов фундамента и глубоких горизонтов осадочного чехла.

Новейший блоково-разрывной тектогенез наиболее контрастно реализуется в жестком консолидированном основании в виде сети дизъюнктивов. Последние в большинстве случаев не являются в полной мере новообразованными, а представляют собой активизированные древние разрывы — разрядка новейших напряжений происходит с выборочной активизацией древних разрывов энергетически наиболее «выгодных» направлений. В фундаментах платформ новообразованные разрывы, по-видимому, вообще не возникают — все они в той или иной мере унаследованные. Сеть дизъюнктивов консолидированного основания — наиболее консервативный элемент структуры земной коры, что позволяет считать линеаментный анализ эффективным направлением дистанционного прогнозирования глубинных структур. Однако сеть линеаментов, отражающая новейшую геодинамику земной коры, далеко не адекватна каркасу структуроконтролирующих разломов фундамента. Часть разломов, не активных на новейшем тектоническом этапе, вообще не проявляется в виде линеаментов. Различна и степень активизации разрывов — некоторые из них, не относящиеся к главным направлениям активизации, все же испытывают некоторое «оживление» и фиксируются в виде слабо выраженных линеаментов. Следует подчеркнуть, что степень новейшей активизации разлома и его выражение в виде линеамента не зависят от времени и глубины его заложения и его роли в сложившемся структурном плане, а целиком определяются новейшим полем напряжения земной коры.

Разрядка новейших напряжений консолидированного основания передается в виде тектонических подвижек и деструктивных процессов через толщу отложений осадочного чехла к земной поверхности. В структуре осадочного чехла эти процессы

реализуются в форме различных нарушений — от разрывных зон значительной амплитуды до малоамплитудных разрывов, флексур и зон безамплитудной трещиноватости, а на поверхности проявляются в виде линеаментов. В процессе эволюции структуры осадочного чехла тектонические нарушения, отражающиеся линеаментами, могут выступать в качестве:

активных структуроформирующих (или структуроконтролирующих) неотектонических (или возрожденных) разломов значительной амплитуды;

дизъюнктивов, усложняющих сложившийся ранее структурный план;

практически безамплитудных дизъюнктивов (или малокоонтрастных флексур), наследующих погребенные разломы, но не вызывающих сколько-нибудь заметной новейшей перестройки структурного плана;

наложенных систем трещиноватости, не изменяющих предшествующей структурно-морфологической дифференциации осадочного чехла.

Самостоятельное структуроформирующее значение для осадочного чехла неотектонические движения имеют в пределах новейших впадин (внутри- и предороженных) с мощной толщей неоген-четвертичных отложений. В этих условиях дифференцированные новейшие движения значительной амплитуды на фоне интенсивного общего прогибания и седиментогенеза непосредственно формируют структурный план новейшей осадочной толщи, а сеть линеаментов отражает блоково-разрывную структуру чехла.

В осадочном чехле платформ малоамплитудные новейшие движения, как правило, не способны существенно изменить сложившуюся древнюю структуру донеогеновой толщи, «переформировать» сложившийся структурный план. Последний может проявляться в сети линеаментов на КС лишь в той мере, в какой новейшие движения унаследованы от древних. Однако для платформенного режима четкой унаследованности в развитии тектонических движений не наблюдается, новейший структурный план большей частью является наложенным по отношению к более древним; особенно это относится к древним платформам. Исключение составляют некоторые блоковые структуры типа грабенов, горстов, авлакогенов, ограниченные разломами и характеризующиеся постоянством плана, но не знака движений.

Сети линеаментов платформенных территорий в осадочной толще чехла соответствуют преимущественно зоны малоамплитудных разрывов и безамплитудной трещиноватости. Это дало основание В. И. Макарову [32] выделить для платформенных областей особый тип линеаментов, отвечающих разрывам без сколько-нибудь существенного однонаправленного перемещения.

Как указывают В. А. Буш и др. [12], некоторый объем земной коры, охваченной длительно действующим полем тектонических напряжений, может запечатлевать их без существенного изменения своей внутренней структуры, в виде «отпечатков» полей напряжения, в рассматриваемом случае — в виде разрывов и зон трещиноватости. В сети линейментов платформенных областей отражается не столько статическая картина структуры осадочного чехла, сколько проявление новейшей динамики тектонических движений.

Представление о соответствии линейментам в осадочном чехле платформ, особенно в приповерхностных горизонтах, мало-контрастных дислокаций в виде зон мало- и микроамплитудных разрывов и зон безамплитудной трещиноватости опирается прежде всего на априорные соображения. Неподтверждаемость геолого-геофизическими материалами по осадочному чехлу отчетливо видимых на КС линейментов заставляет предполагать, что таким линейментам должны соответствовать именно мало-контрастные структуры, обычно не улавливаемые при проведении геолого-геофизических работ. Целенаправленные исследования — электро- и магниторазведочные профили, специальные гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания, анализ промыслово-эксплуатационных данных на газовых и нефтяных месторождениях — подтверждают приуроченность к линейментам разного ранга малоамплитудных разрывов и зон трещиноватости (повышенной флюидопроводимости). Определенное доказательство связи зон трещиноватости с линейментами — хорошее в ряде случаев соответствие на розах-диаграммах ориентировок трещин горных пород и линейментов по дистанционным материалам.

Л. Н. Розанов [41] связывает проявление зон трещиноватости на КС с обстановками растяжения и увеличенной проницаемости земной коры, указывая, что если при геологических исследованиях легче всего выявляются разломы, связанные со сжатием или сдвигом, то на КС наилучшим образом должны проявляться зоны растяжения, которые обычно плохо отображаются на гравиметрических, магнитометрических и геологических картах. Л. Н. Розанов рассматривает линейменты как зоны растяжения земной коры, служащие каналами циркуляции флюидов и вертикальной миграции теплового потока из нижележащих горизонтов.

Сопоставление трещинных зон, выделенных дешифрированием дистанционных материалов и гамма-метрической съемкой, с данными натурных тензометрических измерений показало отсутствие в их пределах горизонтальных напряжений сжатия — все пункты с признаками тектонической напряженности приурочены к блокам, разделяющим зоны трещиноватости [48].

По А. Н. Ласточкину [27], открытую трещиноватость следует рассматривать как разрывную форму проявления неотектогенеза в осадочном чехле, причем продолжительность сущес-

твования трещин в открытом состоянии определяется прежде всего тектоническими движениями и напряжениями. Неотектоническая активность зон трещиноватости недостаточна для ее отражения в тектонической структуре, но способна стимулировать вертикальную миграцию флюидов с образованием гидрогеологических, геотермических и геохимических аномалий. При наложенном характере новейших полей напряжений (на платформах) наибольшая плотность открытых трещин вероятна в зонах максимальных градиентов новейших движений, связанных с дифференцированными подвижками блоков фундамента, с быстрыми динамическими нагрузками, снижающими способность пород к пластическим деформациям. В этих случаях расположение зон трещиноватости подчиняется только новейшему плану тектонических движений — они независимо секут древние (доновейшие) структуры. Таким образом, зоны открытых трещин, проявляющиеся на КС в виде линеаментов, не являются складчатými и не привязаны к определенным элементам складок (периклиналям, крыльям).

С зонами рассеянной безамплитудной трещиноватости связывают платформенные линеаменты, выделяемые в виде широких полос на КС высокой степени генерализации. Таким линеаментам, вероятно, соответствуют крупные древние блокообразующие разломы фундамента, не проявляющиеся в заметных дислокациях приповерхностных горизонтов чехла. Проявление таких линеаментов может быть связано со слабой новейшей активизацией крупных швов фундамента, вызывающей развитие широкой зоны трещиноватости на малых глубинах, где в связи с уменьшением вертикальных нагрузок вышележащих пород (особенно в условиях растяжения) происходит раскрытие большого числа трещин.

Резюмируя рассмотрение материалов исследований геологической природы линеаментов, можно сделать следующее заключение.

Линеаменты представляют собой отражение на земной поверхности разрывных дислокаций разных рангов и глубин заложения, образованных или активизированных новейшими тектоническими движениями в соответствии с полем новейших напряжений земной коры. Соотношение линеаментов со сложившейся структурой осадочного чехла различно в разных геодинамических областях и зависит от степени унаследованности и интенсивности новейших движений.

Соответствующие линеаментам дислокации пород имеют различное выражение по разрезу на разных глубинно-стратиграфических уровнях, причем в пределах осадочного чехла платформ они выражаются, как правило, малоконтрастными дислокациями — зонами мало- и микроамплитудных разрывов и безамплитудной трещиноватости.

Вышеизложенное позволяет сделать важный вывод: глубинная информация, запечатленная в линеаментной сети на КС,

не идентична информации, поставляемой традиционными геолого-геофизическими исследованиями. Анализ КС, в том числе линейный, лишь отчасти может обеспечить информацию, сходную с той, которую дают сейсмозаписка, глубокое бурение и другие традиционные методы. В то же время он может представить такую уникальную информацию, которая недоступна обычным методам геолого-геофизических работ и может быть подтверждена лишь специальными целенаправленными исследованиями. Из этого следует, что перед дистанционными геологическими исследованиями целесообразно ставить прежде всего такие задачи, которые не могут быть решены традиционными геолого-геофизическими методами.

1.3.4. Тектоническая природа совокупностей (полей) линейментов

Наряду с изучением отдельных линейментов необходимо изучение геологической природы линейментной сети в целом. Линейментная трещиноватость — одна из сторон проявления новейших деформаций горных пород: непосредственно — разрывных, дизъюнктивных и опосредованно — пликативных, образующих новейшее деформационное поле земной коры. В структуре (рисунке) линейментных систем, в интенсивности (плотности) линейментов, в местных искажениях (анизотропии) общего поля линейментов запечатлены новейшие движения, структуры и динамическая обстановка (сжатие, растяжение, сдвиги) земной коры.

Общее поле линейментов — результат взаимного наложения частных полей разного ранга — планетарного, региональных, локальных, обусловленных различными силами — общепланетарными, региональными и локальными. Поэтому анализ общего поля предполагает выделение частных полей линейментов.

Основная задача анализа поля линейментов — выявление генетических и динамических связей его важнейших характеристик (строения, плотности, анизотропии) с активными в новейшее время дизъюнктивными и пликативными структурами различного ранга, новейшими тектоническими движениями и динамическими обстановками напряжений. Эта сложная, далеко не решенная задача — одно из перспективных направлений развития методики линейментного анализа в структурно-геологических, в том числе нефтегазогеологических целях.

К настоящему времени наиболее исследовано, по-видимому, планетарное поле линейментов в рамках изучения так называемой планетарной трещиноватости, образующей общий фон, на который наложены региональные и локальные поля трещиноватости и линейментов.

Планетарное поле линейментов определяется явлением «планетарной трещиноватости», которое выражается в существовании закономерно ориентированных систем трещин гор-

ных пород и линеаментных структур разного ранга относительно меридиана (оси вращения Земли), обусловленных не местными, а общепланетарным полем напряжений. Следует подчеркнуть, что определение «планетарная» в данном случае обозначает не ранговость трещин, а общепланетарную природу их ориентировки.

Изучение трещиноватости горных пород в обнажениях позволило выделить «общую трещиноватость», противопоставляемую «специальной» тектонической трещиноватости. По исследованиям С. С. Шульца [49], «общие» трещины осадочных пород платформ характеризуются перпендикулярностью к поверхности напластования, взаимопересечением под прямыми углами, ограниченностью распространения в пределах одного слоя (трещины второго порядка) или нескольких слоев (трещины первого порядка). Однако главное свойство этих трещин — достаточно строгая ориентировка по системам относительно меридиана. Статистическая обработка большого числа (десятки тысяч) замеров для обширных и геологически разнородных площадей выявила четкую закономерность — распределение ориентировки трещин на розах-диаграммах по четырем сопряженным системам (двум ортогональным и двум диагональным). Важнейшей особенностью планетарной трещиноватости горных пород является ее повсеместность — она наблюдается в литифицированных осадочных породах платформ, в изверженных и метаморфических породах щитов, в дислоцированных толщах складчатых областей, а также в современных нелитифицированных, например такырных, осадках.

Изучение планетарной трещиноватости на уровне линеаментов по дистанционным материалам имеет давнюю историю. Термин «линеамент» был введен В. Хоббсом именно в связи с изучением закономерно ориентированных линий земной поверхности, отражающих трещиноватость земной коры. Р. Зондер выделил «линеаментную», или «регматическую», сеть трещин, рассматривая ее как первичную особенность земной коры, к которой приспосабливаются тектонические структуры; ей он противопоставил «специальную трещиноватость», связанную с отдельными тектоническими структурами. Космическая информация о поверхности Земли и других небесных тел земной группы обусловила появление принципиально новых исследований по анализу закономерностей линеаментной планетарной трещиноватости на региональном и глобальном уровнях, по сопоставлению линеаментной сети Земли и других небесных тел. Так, анализ Космогеологической карты СССР [11, 25] показал, что сеть линеаментов на территории СССР упорядочена по отношению к современной оси вращения Земли, имеет закономерную ориентировку и эквидистантное расположение линеаментных зон.

К настоящему времени факт существования планетарной трещиноватости доказан теоретическими, экспериментальными

и статистическими исследованиями. Теоретический анализ азимутального распределения деформирующих усилий, вызванных ротационно-обусловленной полярной деформацией Земли, показывает, что они ориентированы строго по закону четырех экстремальных азимутов, формируя ортогональную пару систем трещин отрыва (меридиональную) и складок сжатия (широтную) и диагональную пару систем трещин скалывания. Данные экспериментального моделирования ротационно-обусловленной полярной деформации шаровых моделей И. И. Чебаненко (1977 г.) подтверждает указанный вывод. Основное доказательство существования планетарной трещиноватости — результаты статистического анализа ориентировки трещин и линеаментов. К настоящему времени разными исследователями накоплено более 350 тыс. замеров. Проведенный Г. Н. Каттерфельдом в 1984 г. анализ 18 сводных роз-диаграмм, построенных на весьма представительном материале (250 тысяч замеров по отдельным регионам, Земле в целом, Марсу, Меркурию, Луне), показывает, что они неизменно характеризуются четырьмя доминирующими лучами ориентировки с весьма небольшой дисперсией от одной площади к другой. Тожественность планетарной ориентировки макротрещин горных пород и линеаментов разного ранга служит доказательством «всепроницающего» характера планетарной трещиноватости горных пород и линеаментных структур, необходимости их изучения как единого целого.

По данным Н. К. Булина (1971 г.), намечается связь планетарной трещиноватости с глобальным полем напряжений земной коры — параллельность осей главных нормальных напряжений направлениям зон трещиноватости и линеаментов. Розы-диаграммы планетарной трещиноватости, в том числе линеаментной, как правило, совпадают с диаграммами ориентировки стрессовых напряжений горных пород.

Для целей нефтегазовой геологии важен вопрос о соотношении планетарной трещиноватости с тектоническими движениями, структурными формами и трещиноватостью горных пород на разных масштабных уровнях. Теоретический анализ ротационно-обусловленных деформирующих усилий показывает, что они определяют формирование двух пар систем трещин: ортогональной пары систем — сжатия (субширотная) и растяжения (субмеридиональная) и диагональной пары систем сколов — правосдвиговой северо-западной и левосдвиговой северо-восточной ориентировки. Первичные планетарные трещины, образуя разноранговую решетку закономерно ориентированных ослабленных зон, обуславливают механическую анизотропию горных пород, в соответствии с которой они реагируют на приложенные к ним тектонические напряжения. Действительно, многие исследователи указывают на фактически наблюдаемую тенденцию проявления теоретически предсказуемых общепланетарных закономерностей кинематики дизъюнктивов.

Планетарная трещиноватость лежит в основе явления «перекрестного структурного плана» — существования систем закономерно ориентированных перекрещивающихся линий деформации, определяющих ориентировку, взаиморасположение и интерференцию тектонических структур [31].

Однако фактические данные показывают, что для конкретных органиченных территорий речь может идти лишь о тенденции проявления общепланетарной кинематической закономерности, так как механическая активность, кинематический тип, степень открытости планетарных («общих») трещин определяются прежде всего местными тектоническими движениями и напряжениями.

Наблюдаемая на органиченных площадях сеть линеаментов, как правило, существенно отличается от правильных решеток планетарной трещиноватости. На региональном уровне в зависимости от конкретной геолого-тектонической обстановки системы планетарной трещиноватости могут видоизменяться, приобретая азимутальную дисперсию или редуцируясь до двух-трех систем ориентировок. Нередко наблюдаются закономерные региональные решетки линеаментов «непланетарной» ориентировки. На локальном уровне разнообразие ориентировок линеаментов еще более возрастает. Таким образом, тектонические напряжения и деформации вызывают «искажение» геометрически правильной сети планетарной трещиноватости, формируя местные аномалии линеаментной сети.

Соотношение планетарной и региональной тектонической трещиноватости проявляется при статистическом анализе ориентировки на последовательно увеличивающихся площадях. По Г. Н. Каттерфельду и Г. В. Чарушину, при увеличении размеров площади в процессе статистического обобщения нарастают значения замеров в градусных интервалах ориентировки планетарной трещиноватости. Закономерное изменение с увеличением исследуемой площади фигуры роз-диаграмм от сложной с многочисленными «блуждающими» лучами к правильной четырехлучевой служит доказательством одновременного существования и тектонической и планетарной трещиноватости.

Первичная планетарная анизотропия горных пород, вероятно, в значительной мере определяет характер, и прежде всего ориентировку, дислокаций, возникающих под воздействием региональных и локальных полей тектонических напряжений. Первичная трещиноватость планетарной ориентировки избирательно используется вновь возникающими тектоническими трещинами. Очевидно, взаимодействие ориентировки планетарной трещиноватости и направления тектонического давления определяет конкретную кинематику трещин разной ориентировки, в частности ориентировку зон разуплотнения с наиболее раскрытыми трещинами.

Значительные структурные формы при своем образовании могут избирательно использовать готовую канву тех планетар-

ных трещин, ориентировка которых в наибольшей степени соответствует разрядке данным образом направленного напряжения. Как указывает С. С. Шульц, тектонические нарушения имеют тенденцию приурочиваться к первичной планетарной трещиноватости, отклоняясь от того положения, которое должно быть вызвано приложенным напряжением.

Региональное поле линеаментов отражает новейшие тектонические деформации (непосредственно — дизъюнктивные и опосредованно — пликвативные) и поля новейших (современных) напряжений земной коры, обусловленные конкретной неотектонической обстановкой рассматриваемых территорий. Несмотря на значительное число исследований региональных сетей линеаментов в разных регионах с различными структурно-геологическими, в том числе неотектоническими, условиями общие закономерности их формирования изучены совершенно недостаточно, что объясняется рядом особенностей изучаемого объекта.

Во-первых, очевидно, существует определенная иерархия соподчиненных региональных полей линеаментов разного ранга в зависимости от размеров рассматриваемой территории.

Во-вторых, региональные сети линеаментов во многих случаях отражают разновременные поля напряжений, сменявших друг друга во времени на протяжении новейшего этапа тектонической активизации. Это замечание в меньшей мере относится к платформенным областям, но при изучении региональной сети линеаментов орогенических областей со сложной историей неотектонического развития его необходимо учитывать. Таким образом, региональное поле линеаментов отражает совокупность нескольких полей новейших напряжений, наложенных друг на друга в пространстве — в виде полей разного ранга и разного уровня глубинности и во времени — последовательно сменявших друг друга.

В-третьих, региональные поля линеаментов характеризуются чрезвычайным разнообразием, отражающим различия существующих новейших геодинамических обстановок и полей напряжений и с трудом поддаются систематизации с выделением отдельных типов линеаментных сетей. Тем не менее эту задачу — выделение характерных типов рисунков региональных линеаментов, их систематизацию, выявление закономерных связей этих рисунков с различными типами полей новейших напряжений на основе изучения кинематики линеаментных структур — следует считать важнейшей в линеаментном анализе.

Региональные поля линеаментов всегда содержат «планетарную составляющую» в виде линеаментов четырех характерных для планетарной трещиноватости видов ориентировки. По существу, региональные сети линеаментов можно рассматривать как тектонически обусловленные местные искажения закономерной сети планетарного поля линеаментов.

Наряду с хорошим соответствием региональных сетей линеаментов и планетарной решетки, образующей основной каркас рисунка сети линеаментов, нередки случаи крайнего их несоответствия, когда характерная планетарная ориентировка практически отсутствует.

Изучение соотношения рисунка региональных линеаментов с планетарной решеткой представляется важным направлением регионального линеаментного анализа, позволяющим, по-видимому, вычленив из регионального поля линеаментов его собственно региональную, тектонически обусловленную часть, искажающую планетарное поле.

Важно, но совершенно не изучен вопрос об участии и роли кольцевых образований в структуре региональных сетей линеаментов и полей новейших напряжений. Кольцевые образования, дешифрируемые на КС и выделяемые по другим материалам — топографическим, геологическим, магнитометрическим и гравиметрическим картам, проявляются в сети линеаментов или целиком в виде кольцевых линейных образований или (чаще) частично в виде дугообразных линейных элементов. При детальном исследовании кольцевые и дугообразные линии обычно распадаются на прямолинейные линеаменты, образующие в региональной сети своеобразные кольцевые или дугообразные системы. Необходимо отметить, что значительная часть линеаментов «непланетарной» ориентировки принадлежит именно к таким системам, существенно искажающим планетарную решетку. Выяснение роли кольцевых образований в формировании новейших геодинамических обстановок и региональных полей линеаментов также является одной из важных задач линеаментного анализа.

Очевидно, что изучение региональных полей не может ограничиваться исследованием геометрии рисунка линеаментов и сопоставлением последних с известными дизъюнктивами. Необходим анализ новейшей кинематики линеаментных структур, соответствующих обстановкам сжатия, сдвига или растяжения. Решение этой исключительно трудной задачи позволит реконструировать поле новейших напряжений и прогнозировать наличие и распределение новейших деформаций, в том числе антиклинальных складок.

Локальное поле линеаментов обусловлено формированием и новейшей активизацией частных структур и отражает присущие этим структурам частные поля напряжения. Локальные поля наложены на планетарное и региональное и проявляются в виде местных осложнений или искажения общего поля линеаментов. По существу, локальное поле линеаментов может отражать соскладчатую трещиноватость горных пород, развитую на участках ограниченного объекта, характеризующегося резким уменьшением радиуса кривизны пласта. К этой группе целесообразно отнести опережающую и опережающую трещиноватость региональных дизъюнктивов.

На мелко- и среднемасштабных КС локальные линеаменты не дешифрируются; на МДС этих масштабов нередко отмечается «исчезновение» региональных линеаментов на площадях локальных складок [41]. На крупномасштабных КС и высотных АФС, как правило, хорошо видны и уверенно дешифрируются системы мелких линеаментов, в совокупности группирующиеся в зоны региональных линеаментов.

Дешифрирование по крупномасштабным материалам локальных линеаментов позволяет изучить внутреннюю структуру и оперяющую трещиноватость региональных линеаментных структур. Анализ общего поля линеаментов позволяет выделить участки локальных полей, отражающие иногда антиклинальные складки и характеризующиеся повышенной плотностью (густотой) линеаментов или проявляющиеся в виде искажений (анизотропии) общего поля. На этой основе разработаны способы прогнозирования локальных складок путем выявления участков повышенной плотности линеаментов [33] или локальных участков искажения общего поля [26].

Отсутствует опыт использования МДС для изучения распределения соскладчатой трещиноватости в контуре локальной складки по изменению плотности или рисунка мелких линеаментов. Развитие такого направления линеаментного анализа маловероятно, хотя и нельзя исключить возможность в некоторых случаях приближенной оценки степени трещиноватости отдельных элементов активных в новейшее время локальных складок по крупномасштабным АФС.

Важный вопрос изучения линеаментов и их геологической природы — определение их соотношения со складчатыми деформациями разного ранга, которое достаточно разнообразно и зависит от ранга обоих соотносящихся объектов. В случае их одноранговости наблюдаются линеаменты, как согласные складчатым деформациям (разделяющие, соскладчатые), так и дискордантные, секущие их. На мелкомасштабных КС высокой степени генерализации выделяются граничные линеаменты, разделяющие геоструктурные области и регионы (горноскладчатые и платформенные, щиты и плиты и др.), и сквозные линеаменты, пересекающие ряд разновозрастных областей (например, секущие и горно-складчатую область и платформу) [25].

Для нефтегазогеологических исследований особенно важно выяснение соотношения линеаментов с локальными антиклинальными складками — ловушками газа и нефти.

На средне- и крупномасштабных КС хорошо выделяются линеаменты (линеаментные зоны), конкордантные по отношению к локальным антиклинальным складкам и образующие с ними закономерные парагенетические единства. Таким линеаментам большей частью соответствуют активные новейшие и активизированные унаследованные разломы различного кинематического характера, с движениями по которым связано фор-

мирование и развитие при-, над- и межразломных пликативных структур. Выявление и систематизация типичных плановых рисунков таких парагенезов с расшифровкой кинематических особенностей линеаментных структур является перспективным направлением линеаментного анализа.

На крупномасштабных КС и высотных АФС (в меньшей степени на среднемасштабных КС) хорошо выделяются зоны линеаментов, независимо секущие локальные антиклинальные складки и отражающие новейшие линеаментные структуры, дискордантные по отношению к сложившейся структуре осадочного чехла. Категория линеаментов, независимо секущих локальные антиклинальные складки, на крупномасштабных КС дешифрируется в виде упорядоченных систем мелких линеаментов, образующих закономерно организованные зоны линеаментов различного планового рисунка. По существу, они являются поверхностным проявлением новейших линейных зон повышенной дислоцированности горных пород. В ряду разноранговой линеаментной трещиноватости Земли эти линеаментные зоны служат отражением разрядки новейших (современных) напряжений районного ранга. Отражаемую ими трещиноватость в отличие от микротрещиноватости, изучаемой в керне и шлифах, и макро- и мегатрещиноватости регионального и глобального рангов предлагается определять как мезотрещиноватость [2]. Авторы придают особое значение изучению зон мезотрещиноватости, выявляемых по дистанционным материалам, как важнейшему направлению линеаментного анализа в нефтегазogeологических исследованиях, в частности при поисках и изучении месторождений газа и нефти.

II. ПУТИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРИ НЕФТЕГАЗОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Линеаментный анализ — изучение сети линеаментов, дешифрируемых на МДС, и линеаментной трещиноватости — в настоящее время следует признать одним из наиболее перспективных направлений дистанционных геологических исследований, в том числе в нефтегазовой геологии. Это определяется, с одной стороны, относительно благоприятными возможностями выделения, геологической интерпретации и изучения линеаментов при дистанционных исследованиях, а с другой — свойствами самой сети линеаментов и линеаментной трещиноватости, закономерно связанных с геологической структурой литосферы на разных глубинно-стратиграфических и масштабно-ранговых уровнях.

История поисков путей применения линеаментного анализа для решения нефтегазogeологических задач насчитывает уже почти четыре десятилетия и делится на два этапа, резко различа-

ющихся по характеру и масштабу используемых материалов и, в значительной мере, по решаемым задачам.

На первом этапе (конец 50-х—60-е гг.), до внедрения в геологические исследования КС, линеаментный анализ основывался на дешифрировании крупномасштабных материалов — АФС и крупно- и среднемасштабных топографических карт. При этом ставились и более или менее успешно решались задачи прогнозирования дизъюнктивных структур — разломов, локальных антиклинальных складок и отчасти их параметров, в меньшей степени — структурно-тектонического районирования территорий, т. е. задачи регионального этапа геологоразведочных работ. Теоретико-методической основой исследований служили: структурно-геоморфологический анализ выделенных протяженных линеаментов — предполагаемых разрывов, анализ карт плотности и ориентировки линеаментов и их модификаций, а также попытки использования анализа местных искажений «систематической» (планетарной) сетки трещиноватости (линеаментов) для прогнозирования локальных структур и эмпирических зависимостей между параметрами трещиноватости и параметрами предполагаемой складки. На этом этапе линеаментный анализ проводился в рамках структурно-геоморфологических исследований, но уже тогда характеризовался некоторыми специфическими, несвойственными этому виду исследований чертами — использованием явлений планетарной трещиноватости, «просвечивания».

Второй этап (начало 70-х гг. — до настоящего времени) связан с внедрением в дистанционные геологические исследования КС с использованием для дешифрирования линеаментов и линеаментного анализа разномасштабных и разнозональных МДС. Для этого этапа характерно естественное увлечение изучением линеаментной сети на мелко- и среднемасштабных КС, обостренный интерес к явлению «просвечивания» и геологической природе линеаментов. В связи с этим в первое десятилетие этого этапа большая часть исследователей, затрагивавших нефтегеологические вопросы, органичивалась общими соображениями о возможной связи нефтегазовых месторождений с линеаменентами, были сделаны попытки структурно-тектонического и нефтегазогеологического районирования по мелкомасштабным космофототектоническим картам на основе выделения крупных линеаментов и блокового строения территории. Специальных целенаправленных исследований по применению линеаментного анализа в нефтегазовой геологии, по существу, не проводилось.

Положение начало меняться в конце 70-х гг., когда были намечены основные направления возможного эффективного использования дистанционных методов в нефтегазогеологических целях. Появились исследования линеаментной сети, направленные на решение различных конкретных нефтегазогеологических задач на разных этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ, наметились различные теоретико-методические направле-

ния линеаментного анализа в нефтегазовой геологии. Наряду с продолжающимися исследованиями по нефтегазовому районированию и общей связи месторождений с крупными линеаментами в последние годы выдвинулось новое направление приложения линеаментного анализа к вопросам поисков, разведки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений — прогнозирование на уровне продуктивного пласта месторождения малоамплитудных разломов и зон трещиноватости — зон повышенной флюидопроводимости [2, 3, 5, 18, 47]. Продолжением исследований предыдущего этапа на новом уровне можно считать использование линеаментного анализа для прогнозирования антиклинальных складок и дизъюнктивов [26].

К настоящему времени намечены основные задачи линеаментного анализа для различных этапов геологоразведочных работ на нефть и газ и основные пути их возможного решения. Разрабатываются различные теоретико-методические подходы к решению этих задач, накоплен опыт практического использования линеаментного анализа в нефтегазовой геологии. Следует подчеркнуть, что предлагаемые различными исследователями методики недостаточно апробированы, слабо обоснованы теоретически, причем в теоретическом и прикладном направлениях развиваются в отрыве друг от друга. По-видимому, настало время для обобщения и систематизации накопленного опыта на основе разработки общего теоретического обоснования линеаментного анализа, четкого определения его возможностей и задач на разных этапах работ на нефть и газ и разработки конкретной методики его комплексирования с геолого-геофизическими, геохимическими и промысловыми исследованиями.

подавляющее большинство исследователей ограничивается решением задач регионального этапа с использованием мелко- и среднемасштабных КС, меньшая часть — решает задачи поискового этапа с использованием более крупномасштабных материалов. Лишь немногие отдельные исследования направлены на решение задач разведочного этапа и эксплуатации месторождений углеводородов. Эта сложившаяся практика закреплена в «Положении об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ» (1983 г.), где использование дистанционных исследований предусмотрено лишь на региональном и поисковом этапах работ и отсутствует на разведочном этапе. Исследования последних лет, в том числе и авторов убедительно показывают возможность эффективного использования линеаментного анализа при решении нефтегазогеологических задач на этапах разведки и эксплуатации месторождений. Дистанционные исследования в нефтегазогеологических целях могут и должны проводиться только в комплексе с традиционными и разрабатываемыми методами геолого-геофизических исследований. Материалы дешифрирования МДС, уникальные по своей чувствительности и дающие цельную плановую картину изучаемой территории, должны служить общей структурной основой построений.

При структурно-геологической интерпретации линеаментов и других дешифрируемых на МДС объектов и особенно при разработке конкретных рекомендаций в отношении прогноза, разведки и эксплуатации месторождений газа и нефти необходимо использование и учет всех наличных материалов геологической съемки, геофизических — гравиметрических, магнитометрических, сейсморазведочных и других исследований, а на стадии эксплуатации месторождения — использование геолого-промысловых данных. Весьма перспективным следует считать комплексирование дистанционных исследований с геохимическими, в отношении которых уже накоплен значительный опыт, и с разрабатываемыми в настоящее время сейсмостратиграфическими исследованиями. Следует подчеркнуть, что комплексирование не должно ограничиваться простым использованием материалов — необходимы правильно скоординированные комплексные работы, в том числе целенаправленное проведение сейсморазведочных (сейсмостратиграфических) работ с учетом анализа дистанционных материалов.

Особо следует остановиться на соотношении, с одной стороны, дистанционных, а с другой — неотектонических и структурно-геоморфологических исследований. Принимая во внимание, что на дистанционных материалах отражена прежде всего поверхность Земли — ее рельеф и связанные с ним гидрографические и почвенно-растительные компоненты ландшафта, следует обязательно проводить структурно-геологическую интерпретацию форм и элементов рельефа при дистанционных исследованиях. Структурно-геоморфологические исследования характеризуются хорошо разработанной методикой, достаточно обширным набором методов и приемов структурно-геологического анализа современного рельефа, использование которых не только полезно, но и совершенно необходимо при дистанционных исследованиях. Учитывая, что на дистанционных материалах отражаются новейшие и современные тектонические движения в виде новообразованных или активизированных в новейшее время структур, в том числе линеаментных, структурно-геологическая интерпретация дешифрируемых объектов не только требует знания новейшей тектоники, но и сама в значительной мере должна быть направлена на неотектонический анализ рассматриваемой территории.

II.1. НАПРАВЛЕНИЯ И ЭТАПНОСТЬ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА

К настоящему времени разработаны, разрабатываются или намечены разнообразные методы и приемы анализа линеаментной сети, дешифрируемой на МДС разного масштаба и разных уровней генерализации, которые могут быть успешно использованы при поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа. Все эти методы и приемы целесообразно объединить в

одно понятие — линеаментный анализ. Это понятие довольно широко используется в современной литературе, но обычно для обозначения частных методов и приемов изучения и структурно-геологической интерпретации линеаментов. В настоящее время, когда назрела необходимость обобщения различных подходов к изучению линеаментной сети в единую методику на единой теоретической основе, линеаментный анализ должен охватывать весь комплекс существующих (и возможных) методов исследования, базирующихся на различных свойствах линеаментной сети и различных сторонах ее отношения к геологическим структурам земной коры.

Конкретная методика линеаментного анализа в нефтегазогеологических целях определяется:

- стадийностью нефтегазогеологических работ;
- конкретными нефтегазогеологическими задачами данного этапа и стадии работ, при решении которых возможно и целесообразно использование линеаментного анализа;
- конкретными свойствами линеаментной сети, проявляющимися в ее отношении к геологическим структурам — дизъюнктивным и пликативным, которые возможно и целесообразно использовать при решении данной задачи.

Как указывалось выше, применение линеаментного анализа по дистанционным материалам для решения нефтегазогеологических задач возможно и необходимо на всех этапах и стадиях нефтегазогеологических работ — региональном, поисковом, разведочном и эксплуатационном.

Конкретные задачи линеаментного анализа на разных этапах очевидно различны, но представляется возможным наметить четыре группы таких задач, часть которых свойственна не одному, а нескольким этапам.

I. Прогнозирование дизъюнктивных структур:

- 1) разного ранга — трансрегионального, регионального, районного, локального;
- 2) разного характера — глубинных разломов, высоко- и малоамплитудных разломов, практически безамплитудных зон трещиноватости;
- 3) на разных глубинно-стратиграфических уровнях — поверхности фундамента, нефтегазоносных (или перспективных) комплексов, продуктивных горизонтов, покрышек;
- 4) имеющих различное нефтегазогеологическое значение — нефтегазоконтролирующее на уровне нефтегазоносного бассейна и его отдельных частей, экранирующее на уровне месторождения и залежи, флюидопроводящее — латеральное и вертикальное — на уровне нефтегазоносного бассейна, его частей, месторождения, залежи.

II. Оценка новейшей тектонической активности линейных структур и разделяемых ими блоков и ее роль при нефтегазонакоплении, формировании и расформировании месторождений углеводородов.

III. Прогнозирование зон и участков разуплотнения как зон повышенной флюидопроводимости, миграции углеводородов и улучшенных коллекторских свойств на уровне нефтегазоносного бассейна и его частей, локальных складок и месторождений.

IV. Прогнозирование пликтивных структур, в том числе структур второго порядка типа валов и локальных антиклинальных структур — ловушек углеводородов, а также некоторых параметров локальных структур.

Естественные свойства дешифрируемых на МДС линейментов, лежащие в основе методов и приемов линейментного анализа при нефтегазогеологических исследованиях, вытекают из их геологической природы.

Каждому линейменту любого ранга соответствует дизъюнктивная структура (разрывное нарушение) примерно того же ранга; при этом структуры могут иметь различный характер в зависимости от ранга линеймента, а для одного и того же линеймента — в зависимости от глубинно-стратиграфического уровня.

Линейментам, независимо секущим локальные антиклинальные складки, на уровне продуктивного пласта соответствуют малоамплитудные разрывы, обладающие экранирующими или флюидопроводящими свойствами, и зоны безамплитудной трещиноватости (разуплотнения), обладающие повышенными флюидопроводящими свойствами.

Линейментные структуры характеризуются новейшей (современной) тектонической активностью и представляют собой наложенные новообразованные или древние унаследованные активизированные дизъюнктивы; при этом глубина и время заложения унаследованных активизированных дизъюнктивов, а также характер их выражения по разрезу могут быть различными. Степень новейшей активизации линейментной структуры отражена в ландшафтном выражении и характере фотоизображения линеймента и во многих случаях может быть приближенно установлена. Региональная сеть линейментов отражает тектоническую делимость земной коры и осадочной толщи на блоки, характеризующиеся различной новейшей тектонической активностью, степень которой может проявляться в гипсометрии и характере рельефа и других элементах ландшафта и в фотоизображении на КС.

Система планетарных ориентировок, проявляющаяся в региональной сети линейментов, служит каркасом для перекрестного структурного плана, определяющего взаиморасположение и чередование новейших и древних поднятий и прогибов.

В плановой морфологии (рисунке на МДС) внутренней и оперяющей структуры линейментов (зон линейментов) запечатлена новейшая кинематика линейментных структур — обстановки сдвига, сжатия, растяжения. Кинематически обусловленный рисунок зон линейментов может быть закономерно связан с па-

рагенетическими ассоциациями дизъюнктивных и пликативных структур и определять закономерности расположения при-, над- и межразломных складок.

Региональные поля линеаментов отражают поля новейших деформаций и поля современных напряжений верхних горизонтов земной коры. Различная плотность общего поля (всей совокупности) линеаментов отражает различную степень дислоцированности верхних разделов земной коры, при этом зоны и участки повышенной плотности отражают зоны повышенных градиентов новейших тектонических движений и локальные антиклинальные складки (новейшие или активизированные). Локальные искажения (анизотропия) общего поля линеаментов отражают локальные новейшие дизъюнктивные и пликативные деформации верхних горизонтов земной коры, в том числе локальные антиклинальные складки.

Большинство перечисленных свойств линеаментов так или иначе использовалось в различных методических разработках. К настоящему времени назрела необходимость разработки единой методики структурно-тектонического линеаментного анализа, наиболее полно использующего различные свойства линеаментов и их совокупностей на основе разработки частных методов и квалифицированного анализа их физического смысла, граничных условий применимости и эффективности. Решение этой задачи требует обязательной апробации разработанных методов целенаправленными геолого-геофизическими исследованиями.

Ниже рассмотрены некоторые примеры использования методов линеаментного анализа для решения региональных и поисковых нефтегазогеологических задач. При этом авторы сознательно воздерживаются от критики конкретных региональных прогнозов и рекомендаций, требующих глубокого знания региональных материалов, и заостряют внимание на методической стороне исследований. Методика линеаментного анализа на этапах разведки и эксплуатации месторождений нефти и газа практически целиком связана с выделением и изучением зон мезотрещиноватости и рассматривается в соответствующей главе.

II.2. ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Линеаментный анализ на этапе региональных исследований нефтегазоносных территорий предполагает изучение общих структурно-тектонических закономерностей их строения без прогнозирования конкретных поисковых площадей — локальных антиклинальных структур.

В региональный линеаментный анализ входят:

уточнение границ нефтегазоносных бассейнов, предварительное тектоническое и нефтегазогеологическое районирование;

выявление каркаса региональных разрывных нарушений и оценка их проявления на разных глубинно-стратиграфических уровнях;

неотектоническое районирование нефтегазоносных бассейнов, выявление неотектонических блоков и их относительной новейшей активности, установление новейшего структурного плана территории и его соотношения с древними структурными планами;

реконструкция и анализ региональных новейших полей напряжений с целью прогнозирования региональных зон с повышенными флюидопроводящими и коллекторскими свойствами.

Появление КС мелкого и среднего масштабов открыло широкие возможности для выявления и изучения региональной сети линеаментов. В отличие от использовавшихся ранее для этой цели картографических материалов, дешифрирование мелко- и среднемасштабных КС, благодаря их большой обзорности и высокой степени естественной генерализации, позволило выделять сеть многочисленных линеаментов разного ранга, трассировать в виде сплошных или прерывистых линий на большие расстояния трансрегиональные и региональные линеаменты, проследивать в виде линеаментов продолжения известных разломов.

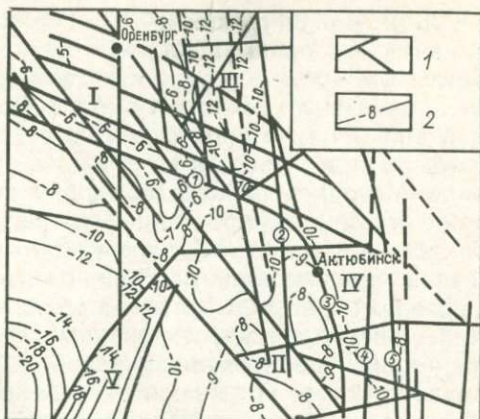
С появлением КС выделилось новое направление региональных дистанционных геологических исследований — космогеологическое картографирование, заключающееся в составлении региональных космогеологических карт, отражающих пространственное размещение и взаимоотношение дешифрируемых на КС объектов регионального и трансрегионального рангов, в первую очередь линеаментов [10]. Анализ космогеологических карт позволил выявить многие интересные закономерности строения сети региональных и межрегиональных линеаментов, но заметного влияния на направление нефтегазопромысловых работ в СССР эти карты не оказали.

В большей мере нефтегазогеологическое направление имеют исследования сети линеаментов с целью уточнения регионально-глубинного структурного плана на основе комплексной интерпретации дистанционных и геолого-геофизических материалов и переинтерпретации материалов региональных сейсмических профилей. При этом региональная линеаментная сеть с теми или иными оговорками отождествляется с каркасом региональных разломов глубокого заложения. Такой подход базируется, во-первых, на положении о существенно блоковом строении земной коры и ведущей роли каркаса разрывных нарушений, консервативность которого на протяжении длительного времени определяет стиль тектонического развития региона, а во-вторых, — на представлении об отражении линеаментами древних разломов глубокого заложения фундамента и осадочного чехла. Несомненная справедливость обоих положений не исключает, однако, серьезных оговорок. Даже при сохранении консервативного кар-

Рис. 3. Структурная карта поверхности допалеозойского фундамента северо-восточной части Прикаспийской впадины [36].

1 — разломы (штриховыми линиями показаны разломы, выделяемые предположительно), 2 — изогипсы поверхности фундамента, км.

Крупные структурные элементы. Выступы: I — Соль-Илецкий, II — Енбекский; прогибы: III — Бельский, IV — Актюбинский, V — Новоалексеевский. Основные разломы (цифры в кружках): 1 — Илецкий, 2 — Мортукский, 3 — Остануский, 4 — Ащисайский, 5 — Главный Уральский



каса разломов наблюдаются неоднократные перестройки структурного плана территорий со сменой ориентировки зон наибольших поднятий и опусканий согласно концепции «перекрестного структурного плана» [31]. Особенно важно выяснение соотношений древних структурных планов с новейшим, непосредственно отраженным на дистанционных материалах.

С. Е. Петров и Е. С. Пржиялговский [36] провели комплексную интерпретацию дистанционных и геолого-геофизических материалов для уточнения структуры поверхности фундамента северо-восточной части Прикаспийской впадины (рис. 3). Авторы подчеркивают, что данные дешифрирования КС дают возможность непрерывно проследивать разрывные нарушения между точками их подсечения на профилях и снижают субъективность выбора их направления. В то же время даже редкая сеть сейсмопрофилей позволяет определить амплитуды смещения крыльев разрывных нарушений, наклоны плоскостей сместителей, характер проявления дизъюнктивов в вышележащих горизонтах чехлы и изменение перечисленных параметров по простиранию. Слабым местом интересного и несомненно полезного исследования С. Е. Петрова и Е. С. Пржиялговского является момент отождествления сети линеаментов с сетью разломов фундамента. Можно согласиться с тем, что все выделенные авторами разломы действительно существуют, тем более что они подтверждаются геофизическими материалами. Однако в пределах рассматриваемой территории имеются важные для понимания структуры района разломы, не проявленные или очень слабо проявленные в виде линеаментов. Прежде всего это относится к достоверно установленным широтным разломам.

Непосредственно нефтегазогеологические задачи ставятся в работах, направленных на уточнение границ и районирования нефтегазоносных бассейнов.

Л. Ф. Волчегурский и В. Г. Пронин [13] на основе дешифрирования КС преимущественно мелкого масштаба и сопоставлений его результатов с геолого-геофизическими материалами сделали попытку уточнить границы Прикаспийской нефтегазоносной провинции и провести ее нефтегазогеологическое районирование, в том числе для внутренних, весьма слабо изученных районов. Методика работы состояла в выделении и структурно-тектонической интерпретации сети региональных линеаментов, а также в изучении особенностей фототона и рисунка фотоизображения. За естественные границы нефтегазоносной провинции и выделяемых нефтегазоносных областей и районов были приняты линеаменты, интерпретированные как разломы глубокого заложения, контролировавшие развитие блоков фундамента и осадочного чехла. По мнению названных авторов, отчетливое проявление разломов на КС в виде линеаментов свидетельствует не только об их существовании на новейшем тектоническом этапе, но и о том, что они продолжали длительное время оставаться одним из значимых факторов условий нефтегазонакопления.

Не останавливаясь на справедливости произведенных Л. Ф. Волчегурским и В. Г. Прониным изменений границ провинции и ее районирования, следует указать на слабые места используемой ими методики:

1) сходство и различие в фототоне и рисунке фотоизображения — весьма ненадежное основание для нефтегазогеологического районирования, особенно конкретной территории с древним (доновейшим) нефтегазоносным комплексом, так как они отражают характеристики современного ландшафта земной поверхности, обусловленные (в ряду других факторов) новейшими движениями и структурами земной коры;

2) проявление древних разломов глубокого заложения на КС, т. е. та или иная их нетектоническая активность, не доказывает активности этих разломов в эпохи платформенного осадконакопления и формирования месторождений углеводородов, а также наличия по ним смещений значительной амплитуды на уровне нефтегазоносного комплекса и, следовательно, их нефтегазоконтролирующего значения.

Наиболее обосновано применение линеаментного анализа при изучении региональной новейшей тектоники, непосредственно отражающейся на КС, для решения следующих задач:

выделение в сети линеаментов каркаса неотектонически активных структуроконтролирующих разрывных нарушений и их ранжирование;

выявление новейшей блоковой структуры территории и оценка неотектонической активности блоков — знака и относительной интенсивности движений;

выявление зон и участков наибольшей новейшей активности, вероятно, соответствующих участкам наибольшей современной раздробленности;

неотектоническое районирование территории;

установление закономерных связей известных месторождений углеводородов с элементами новейшей тектоники.

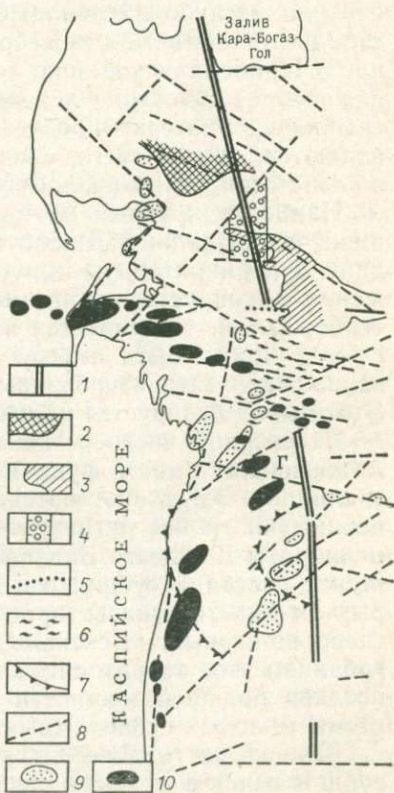
В качестве примера приведем результаты дешифрирования региональной сети линеаментов Юго-Западной Туркмении, проведенного Г. И. Амурским, М. С. Бондаревой и Л. В. Пименовой [24]. На КС Юго-Западной Туркмении отчетливо выделяются как локальные (в пределах месторождений), так и региональные линеаменты. Они состоят из упорядоченных систем однонаправленных линеаментов, которые образуют линеаментные пояса. Только некоторые из них, наиболее протяженные и подтверждаемые другими методами, рассматриваются как дизъюнктивы со смещением, подавляющая же часть интерпретируется как зоны трещиноватости, возникшие вследствие деформаций растяжения или сжатия без видимого смещения пластов.

Помимо уточнения положения региональных разломов и обнаружения «недостающих» их звеньев были выявлены принципиально новые элементы тектоники зоны сочленения Туранской плиты с Южно-Каспийской впадиной. В пределах последней обнаружены продолжения ряда разломов, закартированных по геологическим признакам в Западном Копетдаге, и неизвестные ранее системы разломов, определена их новейшая динамика и связь эпицентров землетрясений и молодых пликативных деформаций с той или иной системой нарушений.

Выделенные при дешифрировании КС линеаменты (рис. 4)

Рис. 4. Схема соотношения регионального Джебельского разлома с южной окраиной Туранской плиты и Западно-Туркменской межгорной впадиной (по Г. И. Амурскому, М. С. Бондаревой, Л. В. Пименовой, 1985 г.).

1 — Джебельский разлом; 2 — Аджигирский выступ фундамента; 3 — западное замыкание Большешалханской мегантиклинали; 4 — меридиональное полосовидное изменение характера гравитационного и магнитного полей (интенсивности, простираения аномалий, появление дискордантных градиентов); 5 — зона сочленения Джебельского разлома со сбросо-сдвигами южного ограничения Большого Балхана; 6 — зона непрослеживаемости на КС Джебельского разлома, обусловлена интенсивным новейшим прогибанием и развитием предполагаемых широтных сдвигов; 7 — контуры полукольцевых структур, ограниченных южным звеном Джебельского разлома; 8 — линеаменты, отождествляемые с разломами, выявленные по КС (Г — Гяурлинский линеамент); 9 — локальные поднятия, отдешифрированные по КС; 10 — месторождения нефти и газа



группируются в несколько систем разного направления — широтные и субширотные, субмеридиональные, северо-восточные и северо-западные. Транзитность большинства линеаментов широтной и субширотной систем, т. е. прослеживаемость их по прямым и косвенным признакам в различных геотектонических зонах, позволяет отождествлять их с зонами тектонических нарушений.

Из широтных линеаментов наибольшего внимания заслуживает Гяурлинский. Он хорошо дешифрируется на средне- и мелкомасштабных КС по комплексу прямых признаков в горной области Западного Копетдага и косвенных — в зоне аккумуляции (Западно-Туркменская впадина) пересекает три различно построенные геотектонические области и на этом основании может быть отнесен к транзитным разломам. Отдельные линеаменты этой системы отдешифрированы на контакте участков наиболее контрастных неотектонических движений, где они совпали с Северо-Кызылкумским и Южно-Келькорским известными разломами. Активные подвижки по ним в неоген-четвертичное время способствовали формированию приразломных высокоамплитудных, глубоко эродированных и интенсивно раздробленных складок. С широтной системой линеаментов совпал и ряд эпицентров неглубоких землетрясений в зоне сочленения горноскладчатой области и межгорной впадины. Кулисное расположение в Прибалханской зоне локальных складок, прерывисто-смещенное расположение линеаментов в зонах диагональных ориентировок, «потеря» прослеживаемости Джебельского разлома являются, скорее всего, свидетельством сдвиговых деформаций по зонам широтных разломов.

Наиболее крупный из меридиональных региональных линеаментов, названный Джебельским, пересекает межгорную впадину и перикратонную зону Туранской плиты и на всем протяжении фиксируется по прямым и косвенным признакам. Характерно, что он трассируется в различных геотектонических областях и может быть отнесен к транзитным разломам древнего заложения, активизированным в неоген-четвертичное время. Этот вывод базируется на следующих данных.

В северной части региона Джебельский разлом разделяет Аджигирский выступ фундамента и Большебалханскую горстантиклиналь. Здесь ему соответствует меридиональная полоса линейных аномалий магнитного и гравитационного полей. К югу от широты Большого Балхана разлом «прерывается» и сочленяется с системой субширотных разломов, в зоне развития которых он практически не прослеживается. Это может быть объяснено, во-первых, интенсивным позднеплиоцен-четвертичным прогибанием этой территории и накоплением синхронных «рыхлых» осадков большой мощности и, во-вторых, развитием здесь системы молодых субширотных сдвигов.

Южная часть Джебельского разлома служит экраном для субширотной системы нарушений, западнее которого они не

прослеживаются. С востока он ограничивает обширные полукольцевые аномалии, выделенные по КС, природа которых неясна.

Полученные результаты линеаментного анализа позволяют дать заключение о динамике и направленности новейших движений в Западно-Туркменской впадине и зоне ее сочленения с Туранской плитой и выделить из числа известных и вновь выявленных разломов структуроконтролирующие.

Одновременно с неотектоническими исследованиями часто производят оценку современной активности разрывных нарушений — как путем повторного высокоточного нивелирования, так и непосредственно путем анализа характера проявления этих нарушений в ландшафте и на КС — с целью выявления возможной кинематики разрывных зон, прогнозирования зон сжатия и растяжения. Такого рода исследования не могут проводиться только на основании дешифрирования МДС и требуют комплексного анализа с использованием структурно-геоморфологических исследований (морфоструктурный анализ) и собственно неотектонических исследований (анализ мощностей и фаций новейших отложений). Однако роль дистанционных исследований при этом исключительно велика — именно они позволяют точно и достоверно определить каркас неотектонически активных разрывных нарушений, а также выявить некоторые важные характеристики как самих разрывных нарушений, так и заключенных между ними блоков.

Одним из регионов, наиболее исследованных дистанционными методами в отношении новейшей тектоники в последние годы, является Мангышлак. В. И. Воробьев, Д. С. Оруджева [14] и другие исследователи, используя комплексный анализ результатов дешифрирования КС и геолого-геофизических данных, изучили вертикальные неотектонические и современные тектонические движения, характер и плотность разрывных нарушений, размещение современных зон сжатия и растяжения, закономерности связи известных месторождений углеводородов с перечисленными параметрами. Дешифрирование КС совместно со структурно-геоморфологическим и собственно неотектоническим анализом позволило составить картосхемы — неотектоническую, современных движений, плотности линеаментов с распределением современных зон сжатия и растяжения. Характерная особенность работы — самое широкое использование дистанционных материалов не только для выделения сети линеаментов, но и (в комплексе со структурно-геоморфологическими исследованиями) для ранжирования линеаментов (и линеаментных структур) по характеру выражения линеамента в ландшафте и на КС.

При оценке знака и относительных амплитуд новейших вертикальных движений блоков учитывалось гипсометрическое положение поверхности блоков (структурно-геоморфологический метод), а также особенности микрорасчлененности рельефа — густота и расчлененность во всех звеньях временных водотоков,

характер размещения переотложенных рыхлых пород, характер растительности и другие признаки, непосредственно дешифрируемые на МДС. Кроме того, использован морфометрический прием изучения поля линеаментов — составление и анализ карты плотности линеаментов с целью прогнозирования наиболее раздробленных участков и зон растяжения.

В результате проведенных исследований были установлены закономерные связи известных месторождений углеводородов с элементами новейшей тектоники, что позволило рекомендовать поисковые объекты для проведения детальных сейсмических работ.

В том же регионе, в пределах Южного Мангышлака, обширные неотектонические исследования, включающие линеаментный анализ, проведены А. И. Тимурзиевым и др. [37, 46] с целью детального изучения новейшей структуры, количественных характеристик новейших движений, выявления связи новейшего и глубинных структурных планов, неотектонического районирования, изучения связи нефтегазоносности с неотектоническими факторами, обоснования неотектонических критериев нефтегазоносности для зонального и локального прогнозирования. В методическом отношении исследования характеризуются широким применением структурно-геоморфологического метода с анализом топографических карт и МДС и морфометрическими построениями (карты морфоизогипс, расчлененности рельефа, плотности линеаментов по локальным поднятиям и структурным элементам второго порядка).

Методика рассмотренных исследований в значительной мере определяется характером неотектонического развития региона — весьма существенным влиянием новейших тектонических движений на формирование современного структурного плана и, как следствие, достаточно высокой в целом изученностью новейших дизъюнктивных и пликативных структур.

При установленном несоответствии новейшего и древних глубинных структурных планов использование данных неотектоники для изучения доновейших структур весьма затруднительно. В этих случаях целесообразно, опираясь на имеющиеся геолого-геофизические материалы, установить характер и степень указанного несоответствия, выявить ориентировки неотектонических структур, согласные и дискордантные глубинному структурному плану, определить характер и закономерности неотектонической перестройки. При этом весьма перспективным представляется использование концепции «перекрестного структурного плана», выделение каркаса дизъюнктивов, контролирующей новейший структурный план, и линеаментов «второстепенной» секущей ориентировки, отражающих направления древних глубинных структурных планов (рис. 5) [44].

Региональные линеаментные исследования, направленные на решение конкретных задач, например выделение наиболее перспективных зон, требуют целенаправленной постановки этих за-

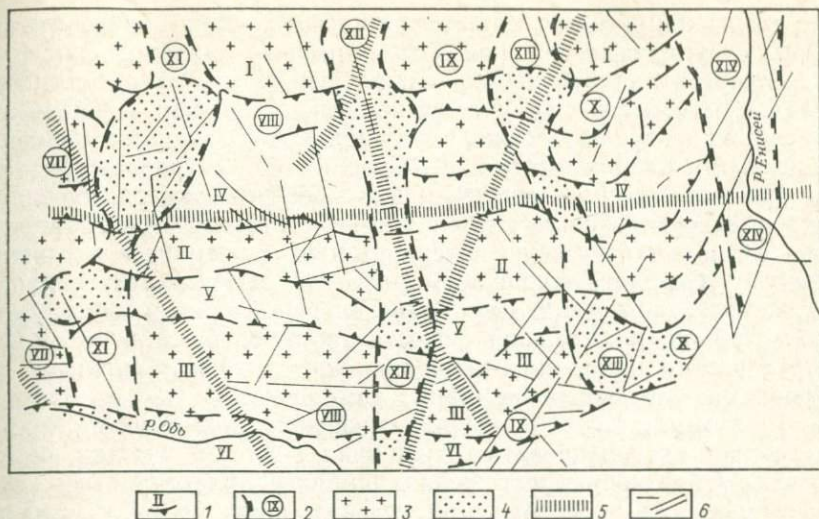


Рис. 5. Схема перекрестного плана новейшей тектонической структуры Широтного Приобья (по данным дешифрирования КС регионального уровня генерализации) [43] (с упрощением).

1 — субширотные зоны поднятий (I — Северная, II — Сибирско-Уральская, III — Правобережная) и сопряженные прогибы (IV — Северо-Увальский, V — Южно-Увальский, VI — Обско-Вахский); 2 — субмеридиональные (цифры в кружках) зоны поднятий (VII — Белогорская, VIII — Надым-Пурская, IX — Тур-Тазовская, X — Тазовско-Енисейская) и сопряженные прогибы (XI — Надым-Ляминский, XII — Пурский, XIII — Тазовский, XIV — Енисейский); участки интерференции ортогональных зон: 3 — поднятий, 4 — прогибов; 5 — важнейшие линейменты, выделенные по КС малого разрешения; 6 — прочие линейменты

дач, учитывающих местную специфику и нерешенные вопросы структурно-тектонического контроля нефтегазонакопления. Такое направление дистанционных исследований было намечено В. В. Козловым, Я. Г. Кацем, Е. Д. Сулиди-Кондратьевым как «аналитическое дешифрирование», включающее, помимо оконтуривания и интерпретации геологических объектов, выявление и анализ тех или иных геологических закономерностей, связанных со спецификой геологического строения региона. Примером такого подхода могут служить дистанционные исследования в Притбилисском нефтеносном районе [35].

Особенно перспективным, но и связанным с наибольшими трудностями направлением дистанционных исследований следует признать изучение геодинамической обстановки регионов и их частей с определением кинематических характеристики линейментных структур и реконструкцией новейшего поля напряжений. Такие исследования могут быть весьма полезными в нефтегазовой геологии с двух точек зрения.

Во-первых, на основе общей картины новейших напряжений и кинематики линейментных структур возможно выявление закономерностей пространственного распределения структурных ассоциаций, отвечающих частным обстановкам сжатия, сдвига

и растяжения. Это позволяет во многих случаях определить на МДС структурные и ландшафтно-геоморфологические рисунки парагенезов пликативных и дизъюнктивных структур, прогнозировать при-, меж- и надразломные антиклинальные складки и другие структурные ловушки углеводородов, их соотношение с активными разломами и т. д. Методические разработки в этом направлении весьма перспективны — решение указанных задач позволит организовать структурно-геологическое дешифрирование КС и геологическую интерпретацию линеаментов в единую систему. Следует, однако, отметить, что решение этих задач в нефтегазогеологических целях перспективно главным образом для областей, не испытавших существенной новейшей перестройки структурного плана по отношению к структурным планам на уровнях нефтегазоперспективных комплексов.

Во-вторых, изучение геодинамической обстановки региона позволяет прогнозировать региональные зоны и участки растяжения. Обстановки растяжения наиболее благоприятны для формирования месторождений углеводородов по ряду условий (повышенный тепловой поток, зоны латеральной и вертикальной миграции флюидов, зоны улучшенных коллекторских свойств и вторичных трещинных коллекторов и т. д.). В отличие от предыдущей задача прогнозирования зон растяжения может решаться при любых соотношениях новейшего и древнего структурных планов, так как объектом поиска во всех случаях являются именно неотектонические образования — зоны растяжения и тектонической трещиноватости.

К настоящему времени методика анализа геодинамической обстановки регионов по дистанционным материалам не разработана. В частности, известный набор признаков и приемов определения кинематических характеристик линеаментных структур крайне ограничен и противоречив, особенно для геологически закрытых платформенных нефтегазоносных бассейнов. Для сдвиговых зон иногда отмечаются характерные «подвороты» некоторых форм рельефа и водотоков, для надвигов — характерный дугообразный в плане рисунок и т. д.

Примеры использования дистанционных исследований для изучения геодинамических обстановок немногочисленны и почти все относятся к орогеническим объектам. В. Е. Гоникбергом [17] проведена реконструкция новейшего поля напряжения Саяно-Тувинского геоблока, характеризующегося высокой неотектонической активностью и выразительным тектоногенным рельефом — современный ансамбль морфоструктур отражает новейший этап тектонических движений и новейшую структуру верхней части земной коры. Дешифрирование и анализ КС показали, что многие черты морфоструктуры находятся в соответствии с реконструированным современным полем напряжения по данным сейсмофокальных механизмов очагов землетрясений. В общем виде морфоструктуры сжатия проявляются как удлиненные или брахиформные вздутия земной поверхности,

морфоструктуры растяжения — часто как хорошо видимые на КС сбросы, грабены и раздвиги. Кулисообразное расположение структур сжатия или растяжения обычно отражает сдвиговое перемещение. На основе морфоструктурного анализа КС построена схема траекторий главных нормальных напряжений в близгоризонтальной плоскости, описывающая новейшее поле напряжения и характер новейшей деформации верхней части земной коры за период рельефообразования (последние 3—4 млн. лет).

А. В. Тевелев [44] провел комплекс дистанционных, структурно-геоморфологических и структурно-геологических исследований Юго-Западного Гиссара и Таджикской депрессии с целью изучения геодинамической обстановки региона и ее выражения в сети линеаментов и новейших деформациях. Геологическая обнаженность большей части территории позволила выделить закономерные структурные ассоциации, отвечающие главным деформационным обстановкам сжатия, сдвига и растяжения. Выявлено закономерное расположение складок относительно линеаментно-разрывной сети и отчетливая связь ориентировки деформационных зон с характером деформаций. В результате исследований установлено, что ось максимального сжатия новейшего поля напряжений имеет северо-западную ориентировку, линеаментно-разрывные системы региона — хорошо выраженную кинематическую специализацию. В общем случае субширотные зоны в приповерхностной структуре проявляются как правые сдвиги, субмеридиональные — как левые сдвиги, северо-восточные — как взбросы и надвиги, а северо-западные — как флексуры, редко сбросы.

Опираясь на установленный характер поля новейших напряжений и кинематики линеаментно-разрывной сети, А. В. Тевелев полагает, что зоны наиболее активного нефтегазонакопления расположены поперек основных структур региона и приурочены к крупным линейным зонам северо-западного простирания, разбивающимся в обстановке относительного растяжения. Действительно, половина известных месторождений углеводородов рассматриваемой территории приурочена к узкой зоне северо-западного простирания, тяготеющей к Алакутанскому линеаменту. Следует подчеркнуть, что структурные ловушки приуроченных к линеаменту месторождений углеводородов характеризуются различной морфологией, кинематикой, возрастом. Следовательно, по мнению А. В. Тевелева, Алакутанский линеамент контролирует не структурообразование само по себе, а обстановку растяжения и продуктивность ловушек.

Общая особенность исследуемых В. Е. Гоникбергом и А. В. Тевелевым территорий — геологическая обнаженность и их высокая неотектоническая активность, что позволило использовать структурно-геологический и морфоструктурный методы для определения кинематических типов геологических структурных ассоциаций, дополненные анализом ярко выраженных конэрози-

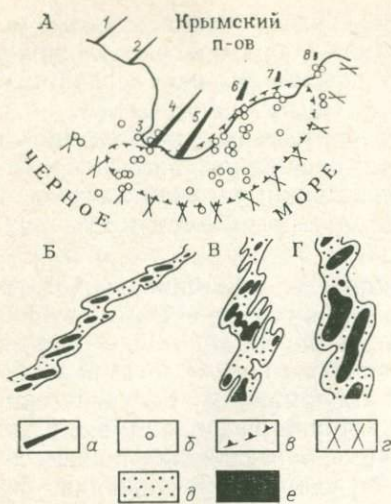


Рис. 6. Схемы строения Крымского веера раздвижения (А) и 1-й (Б), 7-й (В) и 8-й (Г) зон раздвижения [48].

а — крупнейшие зоны раздвижения (1 — Донузлавская, 2 — Северо-Сасырская, 3 — Гераклеяская, 4 — Симферопольско-Балаклавская, 5 — Сельская, 6 — Карабийско-Ялтинская, 7 — Агармышско-Судакская, 8 — Феодосийская); б — эпицентры наиболее сильных землетрясений 1853—1973 гг. (по Б. Г. Пустовитенко); в — гравитационный минимум (по Ш. А. Адамия и др.); г — вероятное положение дубообразного сдвига; участки трещиноватости: д — интенсивной, е — весьма интенсивной

онных морфоструктур. Подчеркиваемое этими авторами большое значение в этих исследованиях дешифрирования КС заключается в выделении закономерной решетки линеаментов, отражающих каркас новейших разломов, — основы региональных кинематических построений, и в возможности расшифровки кинематических морфоструктур по типам рисунков.

Б. А. Соколов [42] на примере Северного Крыма указал на возможность использования КС для выделения участков растяжения («развала») в условиях платформенной равнины. В качестве морфологических признаков современных раздвиговых структур — «грабен-трещин» им выделены заливы западного побережья Крыма — Каркинитский, Донузлавский, бухты Севастополя и др. В целом, по Б. А. Соколову, западная часть Крыма в плане напоминает веер, раскрывающийся на юг против часовой стрелки. На КС хорошо видно, что Крым (без Керченского полуострова) находится в условиях раздвига, амплитуда которого увеличивается с востока на запад. Обстановкой растяжения этот автор объясняет важные особенности нефтегазоносности рассматриваемой территории, связанные с возникновением зон повышенной трещиноватости в карбонатных породах, формированием приразломных антиклинальных складок-ловушек, с путями миграции флюидов, особенно вертикальной. Однако в своей небольшой работе Б. А. Соколов, по существу, ограничивается констатацией возможности выявления на КС общей картины растяжения, ссылаясь на исследования Е. С. Штенгелова [48], разработавшего методику детального картирования трещинных зон растяжения, в том числе на примере Крыма (рис. 6).

Наиболее перспективным путем определения кинематических характеристик линеаментных структур по дистанционным мате-

риалам, особенно в платформенных равнинных условиях, представляется анализ рисунка мелких линеаментов, образующих внутреннюю структуру более крупных линеаментов (зон линеаментов), в том числе отражающих оперяющую и резонансную трещиноватость. Современные МДС, характеризующиеся большим диапазоном масштабов и уровней генерализации, представляют для такого анализа широкие возможности. Однако это направление линеаментного анализа совершенно не разработано — отдельные отрывочные сведения о кинематическом содержании плановых рисунков линеаментов отличаются несистематичностью и противоречивостью.

II.3. ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ

Поисковые дистанционные исследования направлены на прогнозирование и выявление перспективных на нефть и газ локальных объектов, преимущественно антиклинальных складок. В рамках линеаментного анализа поисковые работы могут проводиться в трех направлениях:

непосредственное выявление локальных антиклинальных складок по рисунку линеаментов, отражающих соскладчатые явления;

анализ поля линеаментов — выявление аномалий плотности распределения линеаментов и локальных искажений (анизотропии) поля;

анализ региональной сети линеаментов и вероятной кинематики линеаментных структур с целью выявления парагенетических ассоциаций дизъюнктивных и пликативных структур с учетом местных специфических особенностей структуроконтролирующей роли дизъюнктивов.

Редкий, но интересный пример предполагаемых соскладчатых линеаментов отдешифрирован по АФС М. С. Бондаревой в пределах Вуктыльского вала. В его северной части выделяется аномальная зона концентрических полос с радиально расположенными транзитными линеаментами (рис. 7). Этому аномальному участку на АФС соответствует густая сеть сравнительно коротких линеаментов, образующих радиально-концентрическую сетку (рис. 7, а). Внешний контур объекта однозначно проводится по резкому уменьшению плотности линеаментов и по крайней наиболее ярко выраженной дуге, выходящей за пределы Вуктыльского вала. В современном структурном плане «линеаментному» центру объекта соответствует незначительное превышение гипсометрических отметок, слабо различимое из-за общего подъема поверхности к юго-западу (рис. 7, б). Изогипсы по разным стратиграфическим поверхностям аллохтона подъема не отражают (рис. 7, в).

Материалов, подтверждающих наличие под Вуктыльским надвигом четко выраженной куполовидной складки в дешифри-

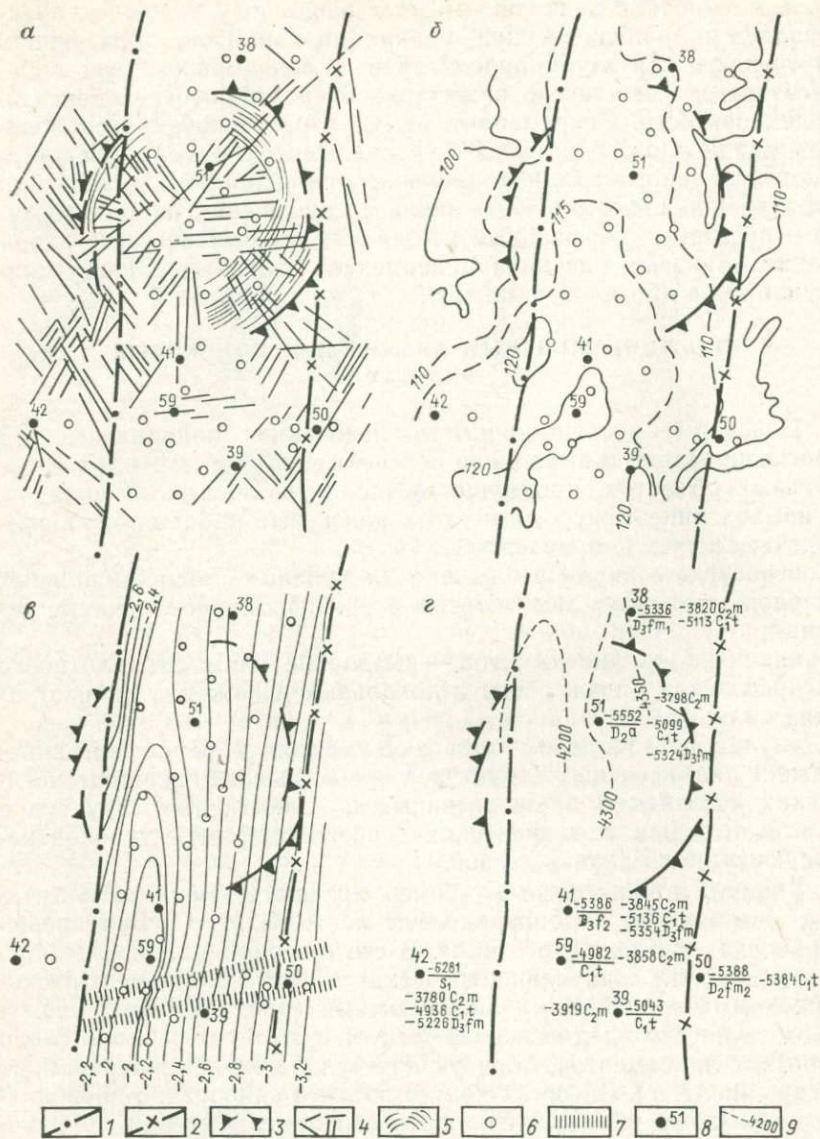


Рис. 7. Участок гипотетической поднадвиговой структуры, выделенной по АФС в пределах Вуктыльского вала (составила М. С. Бондарева, 1985 г.).

а, б — соответственно схема дешифрирования и гипсометрическая схема (изогипсы, м) поверхности участка «Дистанционной» структуры; в — структурная карта Вуктыльского аллохтона по подошве кунгурских отложений (изогипсы, км); г — информация о строении гипотетической поднадвиговой структуры.

1 — основной Вуктыльский надвиг; 2 — текущий ГВК; 3 — внешний контур гипотетической структуры; 4 — линейменты и их зоны, отождествляемые с тектонической трещиноватостью разного генезиса; 5 — субконцентрические линейменты, предположительно связываемые с соскладчатой трещиноватостью; 6 — скважины; 7 — тектонические нарушения, выявленные геофизическими методами; 8 — скважины, прошедшие плоскость основного надвига (глубокая скв. 42 пробурена за пределами надвига); 9 — изогипсы

руемом контуре, не имеется, но вместе с тем переинтерпретация геолого-геофизических материалов позволила И. Д. Чудиновой и Г. В. Кузнецову выделить в этом месте вытянутое поднятие по турнейским отложениям. Положение кровли основных стратиграфических подразделений показывает подъем в несколько десятков метров в центре аномалии. Профиль сопредельных с юга скважин показал, что разновозрастные горизонты в автохтоне располагаются ниже на 20—50 м. Можно допустить, что выделяемая по АФС аномалия соответствует положительной деформации пластов под надвигом, но морфология этой деформации неизвестна.

Сложная картина линеаментов на рассматриваемом участке, по нашим предположениям, является отражением «раскрытости» всех видов трещин, вызванной растяжением некомпетентных отложений большой мощности, слагающих Вуктыльский аллохтон, вследствие роста структуры под плоскостью надвига. При этом субконцентрическая система линеаментов отождествляется с складчатой трещиноватостью.

Анализ поля линеаментов с целью прогнозирования локальных структур может быть осуществлен двумя способами: путем анализа распределения удельной плотности линеаментов либо путем анализа искажений (анизотропии) общего поля линеаментов.

Структурный анализ распределения плотности (густоты) линеаментов основывается на представлении о приуроченности новейшей раскрытой трещиноватости к участкам и зонам активных новейших деформаций горных пород, отражающихся на МДС в виде сгущений линеаментов, а на карте плотности линеаментов — в виде участков и зон максимальной плотности (рис. 8). Техника составления карты плотности линеаментов широко известна [33]; следует отметить необходимость для прогнозирования локальных структур операции разделения общей карты плотности на фоновую и локальную составляющие и проведение анализа по карте локальной составляющей.

В отношении собственно анализа плотности линеаментов следует сделать два замечания. Во-первых, новейшая тектоническая активность не единственный фактор образования аномалий плотности линеаментов. Их плотность в значительной мере зависит от литологии приповерхностных пород и геоморфологических условий анализируемого участка. Поэтому структурный анализ плотности линеаментов должен проводиться с учетом степени расчлененности рельефа: внутри каждой зоны местные аномалии, как правило, определяются новейшей текто-

отражающего горизонта P_1 , отождествляемого с турнейскими отложениями нижнего карбона, м (по И. Д. Чудиновой, Г. В. Кузнецову, 1983 г.).
Цифры у скважины (для z): в числителе — абсолютная отметка забоя скважины, м; в знаменателе — вскрытый горизонт (D_2a — афонинский горизонт живецкого яруса) и абсолютные отметки подошвы московского (C_{2m}), турнейского (C_{1t}) и фаменского (D_{3im}) ярусов, м

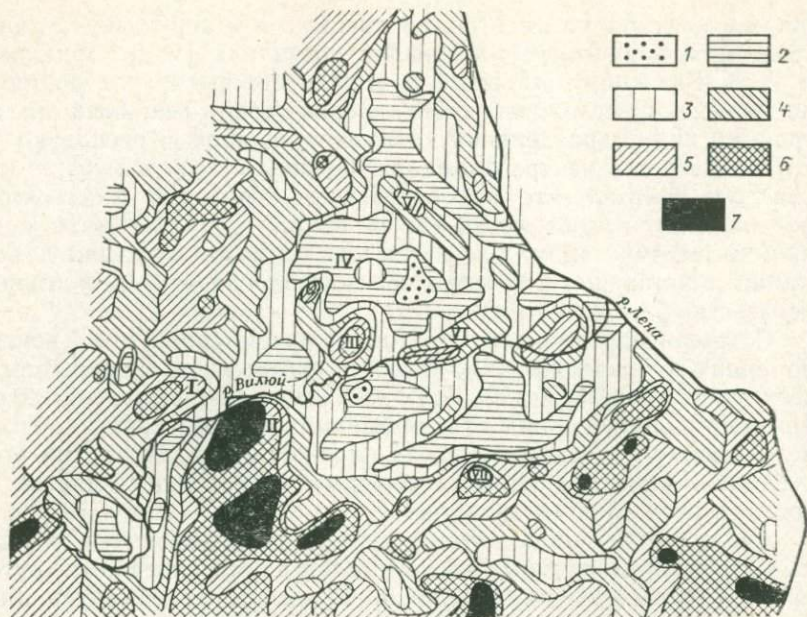


Рис. 8. Схематическая карта мегатрещиноватости пород Вилуийской синеклизы и прилегающей части Приверхоанского прогиба [33].

Густота мегатрещин, усл. ед.: 1 — <10, 2 — 10—20, 3 — 20—30, 4 — 30—40, 5 — 40—50, 6 — 50—60, 7 — >60.

Поднятия и валы: I — Мылькайский, II — Сунтарское, III — Джипское, IV — Логлорский, V — Харыйское, VI — Средневилуийское, VII — Баппагайское

нической активностью структур. Во-вторых, выражение неотектонически активных структур в поле плотности линеаментов довольно различно. Мелкие антиклиналы обычно выражаются округлыми контурами повышенной плотности. Для крупных структур характерно проявление неравномерного распределения складчатой трещиноватости с наибольшей плотностью линеаментов в местах перегиба слоев в виде кольцеобразных или подковообразных зон повышенной плотности линеаментов, окаймляющих складку [33].

Анализ поля плотности линеаментов успешно применялся для прогнозирования локальных складок в условиях Западной Сибири (В. Б. Полканова, 1967 г.), Восточной Сибири [33] и в других регионах. В настоящее время карты плотности линеаментов используют преимущественно для оценки новейшей активности структур [45].

П. Бланше (P. Blanchet, 1957 г.) — один из пионеров применения линеаментного анализа при нефтегазопромысловых исследованиях, разработал методику прогнозирования антиклинальных складок и рифов по искажениям «систематической» планетарной сети линеаментов, выделяемых на АФС. П. Бланше иллюстрирует работу примером хорошего совпадения контуров

структуры по расчетным данным с контуром по данным бурения, но не приводит детального описания методики, в том числе расчетных эмпирических формул.

Методику анализа искажений (анизотропии) поля линеаментов с целью выделения активных локальных деформаций разработали Д. А. Кукушкин и Г. Х. Ян [26], которые опираются на следующие положения:

совокупность линеаментов рассматривается как общее поле линеаментной трещиноватости (мегатрещиноватости) — результат взаимного наложения полей разного ранга — планетарного, региональных, локальных;

каждая структура имеет собственное поле линеаментной трещиноватости — одну из форм проявления поля деформаций, отвечающее специфическому для данной структуры полю напряжений;

частные поля региональных и локальных деформаций выступают в виде искажений (анизотропии) общего поля линеаментной трещиноватости и обнаруживаются на розах-диаграммах по разной интенсивности (суммарной длине) систем линеаментов с аномальной ориентировкой;

показатель искаженности общего поля проявляется в виде различной интенсивности (суммарной длины) систем ориентировки линеаментов на розах-диаграммах.

Д. А. Кукушкин и Г. Х. Ян предложили общий принцип анализа поля линеаментов, основанный на сравнении интенсивности взаимно перпендикулярных систем ориентировок линеаментов, и формулу, позволяющую количественно охарактеризовать степень искаженности поля. На картах показателя степени искаженности поля линеаментов различной детальности для Енисей-Хатангского прогиба выделяются контрастные линейные аномалии, связанные с разломами и флексурами, и кольцевые аномалии, вероятно, оконтуривающие куполовидные структуры осадочного чехла (рис. 9). Названные авторы подчеркивают высокую контрастность карт показателя искаженности, на которых аномалии в два и более раза превосходят по интенсивности фоновые значения, тогда как на картах плотности линеаментов контрастность аномалий не превышает 20—30 % фоновых значений.

В качестве поискового метода построение карт искаженности поля линеаментов несомненно может быть использовано, хотя оно имеет определенные ограничения — необходимость наличия достаточно представительной сети дешифрируемых линеаментов для проявления локальных складок. На картах выделяются зоны и участки новейших деформаций, отражающих новейшее напряженное состояние осадочного чехла, поэтому выражение на них погребенных, пассивных в новейшее время структур сомнительно. Следует подчеркнуть общую перспективность анализа искаженности поля линеаментов для изучения характерных особенностей частных полей линеаментов разного ранга — региональных и локальных — на основе дешифрирования МДС раз-

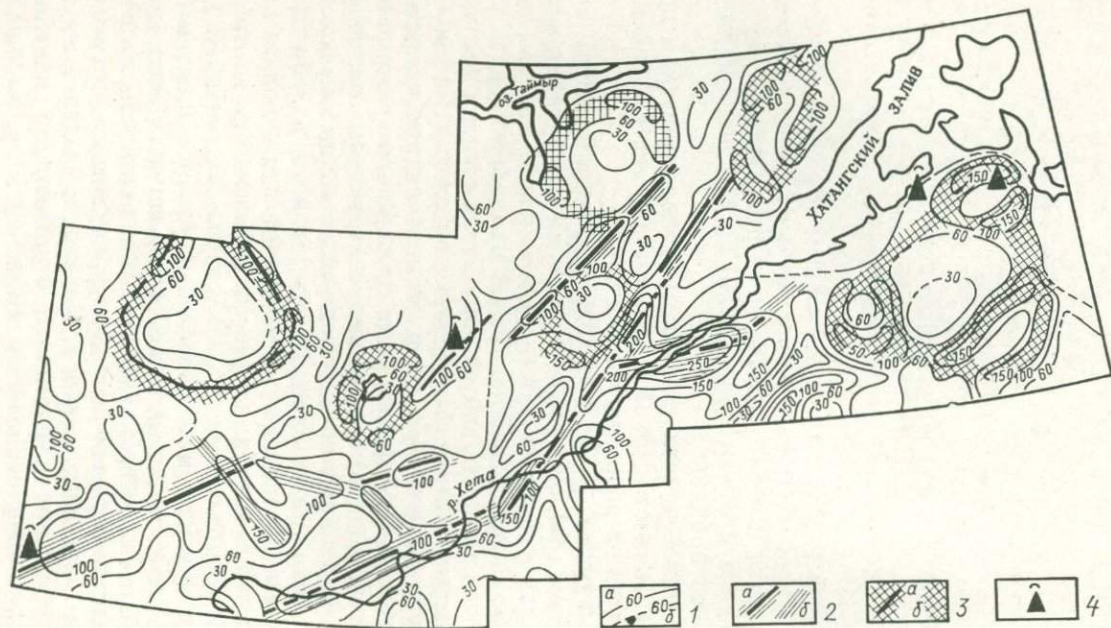


Рис. 9. Карта показателя искаженности поля линеаментов участка Енисей-Хатангского прогиба [26].

1 — изолинии показателя искаженности поля линеаментов (а — достоверные, б — предполагаемые), усл. ед.; 2, 3 — соответственно линейные и кольцевые аномалии поля линеаментов, подтвержденные (а) и не подтвержденные (б) аномалиями магнитного и гравитационного полей; 4 — месторождения нефти и газа

ной степени генерализации и разложения поля линеаментов на фоновую и локальную составляющие.

Изучение сети линеаментов с целью выявления парагенетических ассоциаций дизъюнктивных и пликативных структур обосновано закономерной приуроченностью локальных поднятий к зонам разломов. Анализ структурных материалов показывает, что многие локальные складки платформ являются при-, меж-, надразломными, и отчетливо устанавливается их связь с разломами фундамента и надразломными флексурами осадочного чехла. Приподнятые крылья последних обычно осложнены валобразными цепочками локальных антиклиналей, ориентированных вдоль разломов.

Формирование приразломных складок в значительной мере обусловлено новейшими тектоническими движениями по разломам, вдоль древних консолидированных разломов их почти нет, а на участках новейшей активизации количество их, по Л. Н. Розанову, резко возрастает. Это обстоятельство определяет высокую эффективность использования дистанционных материалов, отражающих новейшие и активизированные структуры, для выявления парагенетических структурных ассоциаций.

Анализ линеаментной сети в комплексе дистанционных методов успешно используется при поисках перспективных на нефть и газ объектов в различных регионах СССР. Примером таких исследований могут служить работы по выявлению и уточнению положения грабенообразных прогибов Предуралья и связанных с ними антиклинальных складок. В Пермском Прикамье комплексная интерпретация результатов структурного дешифрирования АФС и КС и структурно-геоморфологических исследований с учетом геолого-геофизических материалов позволила развить представление о ступенчато-блоковом строении осадочного чехла на уровне перспективных палеозойских отложений, выделить и уточнить положение грабенообразных прогибов и разделяющих их тектонических ступеней с цепочками локальных поднятий (рис. 10) [39].

Изучение сети региональных линеаментов разного ранга для поисков локальных структур и перспективных площадей может иметь различный характер в зависимости от конкретной структурно-тектонической обстановки.

В пределах Восточно-Оренбургского структурного выступа характерна диагональная решетка линейных дислокаций поверхности фундамента северо-западной и северо-восточной ориентировки, проявляющаяся также на разных глубинно-стратиграфических уровнях осадочного чехла в виде протяженных линейных дислокаций различного характера. Эти дислокации отчасти прослеживаются в геофизических полях, а также в рельефе земной поверхности в виде увалистых гряд и сопряженных с ними понижений и русел рек, а на КС — в виде линеаментов. Между тем структурные карты по материалам сейсморазведки для терригенной толщи нижнего девона построены путем интерпо-

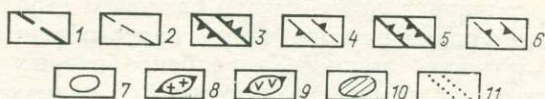
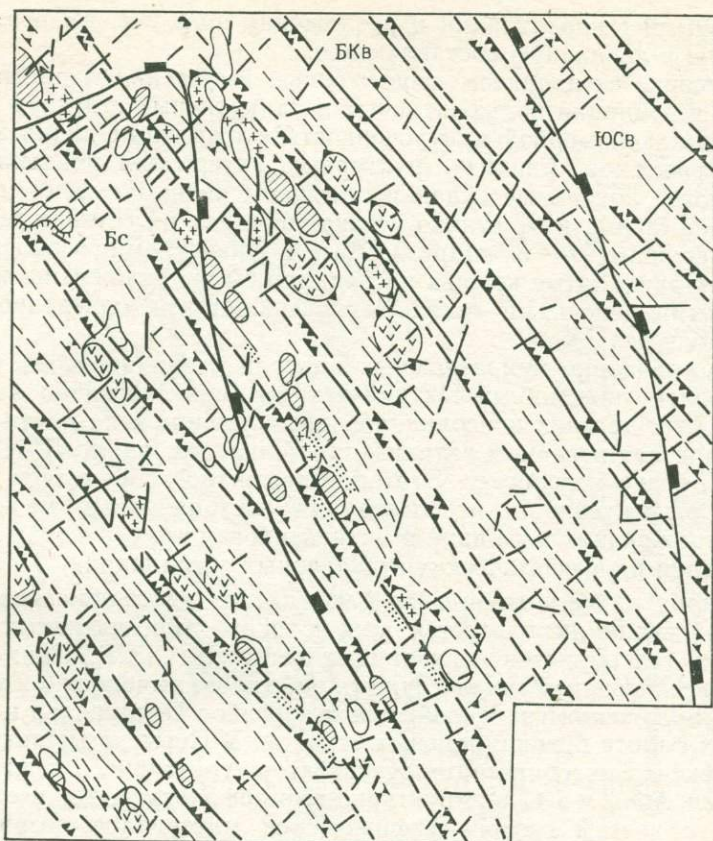


Рис. 10. Схема результатов комплексной интерпретации материалов аэрокосмогеологических исследований, бурения и геофизики с рекомендациями дальнейших поисково-разведочных работ [39] (с упрощением).

Крупные тектонические структуры: Бс — Башкирский свод, БКв — Бымско-Кунгурская впадина, ЮСв — Юрюзано-Сылвенская впадина.

Линеаменты, отражающие пучки интенсивных линейных деформаций осадочного чехла и фундамента: 1 — образующие зоны большой протяженности, 2 — проявляющиеся на локальных участках; 3 — морфоструктурные зоны, отражающие тектонические ступени; 4 — цепочки локальных морфоструктур, отражающие цепочки локальных поднятий; микродепрессии, отражающие грабенообразные прогибы и разделяющие; 5 — морфоструктурные зоны, 6 — цепочки локальных морфоструктур; 7 — поднятия, установленные в палеозойских отложениях поисково-разведочными работами; локальные морфоструктуры; 8 — подтвержденные поисково-разведочными работами, 9 — рекомендуемые как первоочередные объекты для постановки дальнейших поисково-разведочных работ; 10 — месторождения нефти и газа; 11 — участки грабенообразных прогибов, подтвержденные поисково-разведочными скважинами

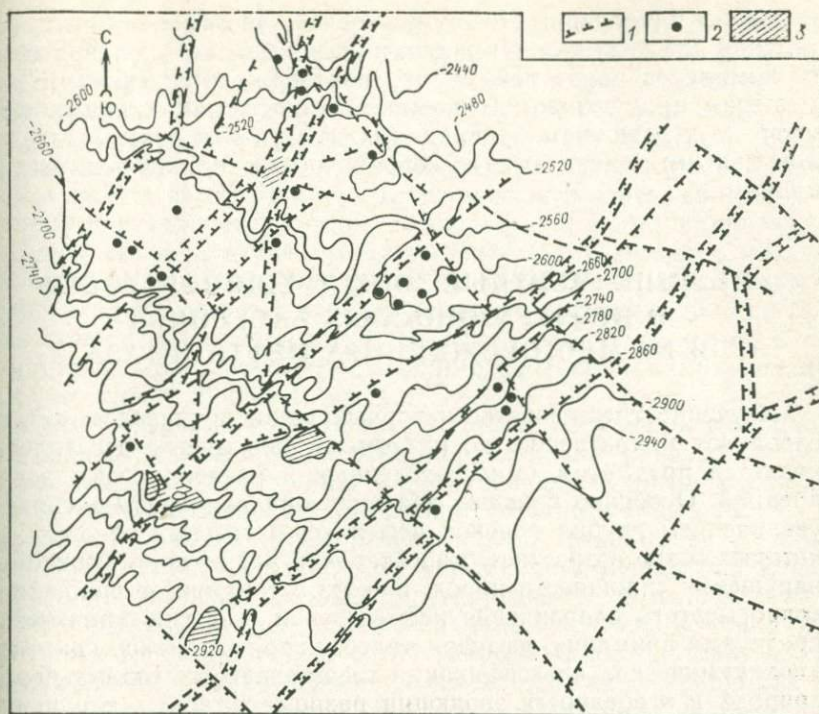


Рис. 11. Структурная карта кровли пашийского горизонта (изогипсы, м) северной части Восточно-Оренбургского выступа [1].

1 — зоны разломов, выявленные по комплексу геолого-геофизических данных; 2 — скважины, вскрывшие перспективные горизонты; 3 — первоочередные объекты (участки) для постановки глубокого бурения

ляции отметок без учета диагональных простираний линейных дислокаций, т. е. в искусственном пликативном варианте. Это не позволяло успешно вести поисково-разведочные работы, приводя к необоснованному завышению размеров поднятий и увеличению числа непродуктивных скважин.

А. А. Аксенов и др. [1] по комплексу признаков, включая данные дешифрирования, выделили и протрассировали наиболее вероятные линейные зоны, а их простирания использовали при построении структурной карты (рис. 11). Анализ карты показывает, что формирование современной структуры терригенного комплекса девона в значительной степени обусловлено наличием линейных дислокаций диагональной системы. На фоне регионального погружения в узлах пересечения разнонаправленных линейных дислокаций образуются клиновидные выступы с вершинами (углами), обращенными против регионального падения, с относительно пологими южными и крутыми, часто осложненными дизъюнктивами северными крыльями. Такое расположение при-

поднятых клиновидных выступов создает чрезвычайно выгодные условия для аккумуляции нефти в песчаных пластах терригенного комплекса пород девона, что подтверждается схемами размещения продуктивных скважин, которые, как правило, приурочены к вершинам клиновидных выступов и реже связаны с локальными поднятиями, не сопряженными с линейными дислокациями.

III. ЛИНЕАМЕНТНЫЕ ЗОНЫ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНАХ И НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ И ГАЗА

Изучение трещиноватости горных пород в широком смысле слова (от микротрещин до разломов) уже многие десятилетия является предметом многочисленных и разноплановых исследований. Особенно большое значение они приобрели в связи с увеличением глубин поисков нефтяных и газовых залежей, на которых резко возрастает относительная роль разномасштабных нарушений сплошности пород. Вместе с тем многие важнейшие вопросы этого направления нефтегазовой геологии остаются за пределами внимания исследователей, например такие, как флюидодинамическая классификация трещиноватости горных пород, природа и особенности эволюции разномасштабных нарушений сплошности осадочных пород на нефтяных и газовых месторождениях, проводящие свойства разноранговых дизъюнктивов, в том числе зон мезотрещиноватости, значение трещиноватости в формировании фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов и сохранении герметичности пород-покрышек и т. д. Особое место занимает вопрос о методах и способах прогнозирования и выделения по КС зон повышенной трещиноватости осадочных пород в нефтегазоносных бассейнах и на месторождениях углеводородов в частности.

Нарушения сплошности горных пород представлены широким набором линейных дислокаций — от микроскопического уровня в виде элементарных безамплитудных микротрещин отрыва до региональных систем крупномасштабных дизъюнктивов, включающих сбросы, взбросы, надвиги, сдвиги и т. д. Ретроспективный анализ многочисленных тематических работ не обнаруживает общепринятого единого термина, характеризующего совокупность нарушений сплошности горных пород разных рангов и их кинематических типов.

Прежде всего это связано с противопоставлением собственно трещин как внутрипластового элемента разномасштабным разрывам, секущим ассоциации многочисленных смежных пластов. Например, Е. М. Смехов к трещиноватости относит только такие нарушения сплошности пород, которые в отличие от разрывов не вызывают смещения слоев. Большинство исследователей

под трещинами понимает разрывы в горных породах без сколько-нибудь существенного смещения (В. В. Белоусов, В. Е. Хаин, Г. Д. Ажгирей, Е. Хиллс и др.), считая их тем самым лишь «безамплитудной» разновидностью разрывов. И это тоже правильно, поскольку не только качественного, но и четкого количественного критерия по этому показателю для разделения первых и вторых не существует. Достаточно вспомнить, что разрыв любого кинематического типа обладает конечными размерами. Поэтому его амплитуда всегда изменяется от какой-то максимальной величины до нуля. В то же время, даже среди микротрещин, не различимых невооруженным глазом, выделяются такие, стенки которых представлены зеркалами скольжения, т. е. в принципе они могут быть охарактеризованы такими понятиями, как сдвиг, сброс и т. д.

Если разрывами считать элементарные нарушения сплошности пород, пронизывающие породы разного литологического состава независимо от границ напластования, то тогда к собственно трещинам надо относить такие линейные элементы неоднородности пород, которые не выходят за пределы одного пласта. Но и такой подход не дает однозначной основы для классификации. Во-первых, по размеру внутрипластовые нарушения сплошности изменяются от едва заметных под микроскопом до протяженных на десятки и сотни метров. Причем последние по ряду признаков обнаруживают больше сходства с разрывами, нежели с микротрещинами. Во-вторых, нарушения сплошности пород, секущие несколько литологически различных пластов, но не выходящие ни сверху, ни снизу за пределы одного комплекса (формации), мало чем отличаются от внутрипластовых. Наконец, этот признак также не обладает критерием качественных отношений. По-видимому, правы те исследователи (Ф. И. Вольфсон, А. Е. Михайлов, Л. У. Ситтер и др.), которые считают необоснованным противопоставление трещин и разрывов. Поэтому широко распространенным термином «трещина» можно аппроксимировать любое нарушение сплошности горных пород независимо от его масштаба и кинематики. Совокупность трещин, секущих породу (независимо от их кинематических особенностей, морфологии и протяженности), Ю. А. Косыгин определил как трещиноватость. Близкое определение дано Л. И. Лукиным и И. П. Кушнаревым.

Большинство известных классификаций трещин (разрывных нарушений, разрывов, разломов) строилось либо на морфологических (И. А. Молчанов, А. А. Белицкий, М. В. Гзовский), либо на генетических (М. А. Усов, М. М. Тетяев, А. А. Белицкий, М. В. Гзовский, В. В. Белоусов, А. И. Суворов, и др.) принципах. Обзор основных принципов построения этих классификаций дан в работе А. Е. Михайлова (1964 г.), который, излагая свой опыт систематики разрывных нарушений, подчеркивал необходимость создания единой классификации, отражающей различные стороны их образования. По существу, эта же идея реал-

лизована в последней классификации М. В. Гзовского (1975 г.), основанной на физико-генетических принципах, хотя он и отмечал, что морфологический подход должен быть независимым от генетического. За основу наиболее пространной систематизации И. П. Кушнарева (1977 г.) принята причинность проявления разрывов.

Не подвергая сомнению достоинства имеющихся классификаций нарушений и признавая необходимость создания новых классификаций — общего типа, отметим, что первые строятся на материалах изучения геологически открытых (естественно или искусственно — шахты, горные выработки и т. д.) территорий, когда почти все параметры нарушений сплошности горных пород поддаются непосредственному замеру. Для погребенных же объектов (например, нефтяных и газовых месторождений), на которых особенности разномасштабной делимости горных пород нарушениями сплошности разного типа реконструируются по косвенным и далеко не всегда однозначно интерпретируемым признакам, они мало пригодны. Это предполагает необходимость разработки такой систематизации трещиноватости, которая бы расширяла возможности прогнозирования, изучения и оценки роли различных форм и масштабов ее проявления при моделировании формирования и строения нефтяных и газовых месторождений.

Одна из первых попыток исследований в этом направлении принадлежит Р. С. Копыстьянскому [23]. При систематике трещиноватости земной коры и горных пород он исходит из необходимости учета не только генетической природы составляющих ее элементов, но и главным образом значения их в решении задач нефтегазовой геологии, включая методы изучения.

III.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕКТОНОДИНАМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ

Дешифрирование КС нефтегазоносных территорий, в основном геологически закрытых, явилось основой составления многочисленных «космофототектонических» и им подобных карт и схем. Как правило, такие схемы насыщены двумя многочисленными группами элементов, выделяемых по ландшафтно-геоморфологическим признакам и фототону изображения: линеаменты разных рангов и разномасштабные овальные и (или) кольцевые фотоаномалии. Первые в большинстве случаев отождествляют с разрывными нарушениями. Истолкование генетической природы вторых гораздо менее аргументировано и весьма разнообразно.

Накопленный богатый опыт дешифрирования КС показал, что на геологически закрытых территориях не только пликативные, но и разрывные дислокации осадочного чехла на фотоизоб-

ражении поверхности выражаются косвенными признаками и только в тех случаях, если они тектонически активны в настоящее и субсовременное время. Поэтому едва ли требует новых доказательств положение, что на КС отображается не статическая структура земной коры, запечатленная в ландшафте, а проявление в ней новейшей и современной динамики тектонических движений [40]. Очевидно, также, что формирование различных геологических структур (пликативных, дизъюнктивных) в слоистой среде осадочной толщи есть результат тектонических импульсов, т. е. происходит в условиях коробления находящейся в сложноподвижном состоянии земной коры.

Современные неотектонические концепции обнаружили огромное влияние глобальных геодинамических явлений на стиль и направленность течения многих геологических процессов. Переоценка сложившихся к середине текущего столетия взглядов на формирование крупных и крупнейших структур земной коры сопровождалась переосмыслением уже устоявшихся представлений на закономерности и условия образования заключенных в них месторождений различного минерального сырья. Новые идеи, порожденные концепцией тектоники плит, были использованы и в геологической науке о нефти и газе. Однако в большинстве такие исследования сводятся к пересмотру существовавших и существующих классификаций, систематизаций и типизаций крупных нефтегазоносных регионов (обычно нефтегазоносных бассейнов) с целью ранжировки их по геодинамическим признакам. При этом лишь в редких случаях действительная динамика тектонических процессов возводится в ранг фактора, не просто определяющего формирование морфологически разнообразных типов бассейнов, но и активно влияющего на генезис и накопление в них нефти и газа (В. Е. Хаин, 1981 г.).

Несмотря на все возрастающий интерес к проблеме использования новых идей теории тектогенеза в учении о нефти и газе, многие методы и приемы анализа формирования их месторождений еще не пересмотрены. До сих пор не установлены и практически не обсуждались в печати причинно-следственные связи между нелинейными динамическими эффектами, сопровождающими формирование напряженного состояния земной коры при сдвиганиях плит, и онтогенезом нефти и газа. Из частных задач этой проблемы, на наш взгляд, заслуживают внимания следующие:

влияние тектонических движений на гидродинамическую неоднородность подземной гидросферы (в том числе углеводородной сферы);

значение динамики разномасштабных нарушений сплошности горных пород (главным образом осадочных) во флюидном (и углеводородном, в частности) массопереносе в осадочной оболочке земной коры;

роль физико-химических процессов, происходящих на контактирующих «берегах» нарушений сплошности пород, в формиро-

вании линейных космофотоаномалий на геологически закрытых территориях.

Форсированное в последние десятилетия изучение напряженного состояния земной коры показало, что:

оно формируется под действием не столько геостатического, сколько геодинамического поля напряжений (главным образом под влиянием тангенциальных нагрузок);

на многих участках земной коры (в том числе и на платформенных) горизонтальное сжатие по величине превышает вертикальное;

в интенсивно деформирующихся «блоках» земной коры обычно сосуществуют зоны растяжения и сжатия;

первичная неоднородность деформирующейся среды, усиленная тектоническими перестройками на последующих этапах, обуславливает локальные переориентировки напряжений;

локальная анизотропия тектонического поля напряжений ответственна за возникновение аномальных зон тепло- и массопереноса, которые в конечном итоге нередко так или иначе отражаются на дневной поверхности.

Поэтому становится все более очевидным, что все структурно-морфологические преобразования земной коры, и в том числе формирование ее геологических элементов (тел), представляющих интерес для поисков нефти и газа, происходит в обстановке нелинейно-переменного поля тектонических напряжений. По заключению В. Г. Громова, Н. Н. Соловьева, Г. И. Амурского и др. различный характер деформаций горных пород в ареалах растущих (доформировывающихся или вновь формирующихся) антиклинальных структур (поднятий, новейших поднятий) и дизъюнктивов обуславливает возникновение разнообразных динамических эффектов (аномалий) в их пределах, например таких, как механотермические, механохимические, деформационно-петрофизические, гидродинамические и др.

Во многих случаях поверхностные термо- и флюидоаномалии разных типов прямо или косвенно связаны с деформационным разуплотнением горных пород (явление дилатансии) в результате действия сейсмотектонических (в более широком смысле тектонодинамических) процессов.

Факт объемного расширения деформируемых твердых тел перед разрушением из-за появления внутри них полостей был установлен О. Рейнольдсом еще в прошлом столетии. Прямая экспериментальная проверка этого деформационного эффекта, получившего название дилатансии (дилатации), была осуществлена П. В. Бриджменом в 1949 г., наблюдавшим аномальное увеличение объема образцов горных пород при неравностороннем сжатии. Позднее А. Н. Ставрогиным (1968 г.), Н. Н. Павловым и др. (1975 г.) было установлено проявление этого эффекта в процессе неравномерно-объемной деформации многих геоматериалов, различающихся литологическими и петрофизическими свойствами. По данным Е. И. Зубовской, Г. Н. Юрель,

Л. Н. Левушкина, величина разуплотнения горных пород может достигать 6 %, а их проницаемость возрастать в несколько раз.

Среди других результатов изучения дилатансии горных пород наибольшее внимание обращают следующие. Во-первых, способность пород к деформационному разуплотнению при прочих равных условиях возрастает с увеличением плотности упаковки частиц (или со снижением пористости). Во-вторых, дилатансия геоматериалов, различающихся по механическим свойствам, происходит при различных критических значениях неравномерно-объемной деформации. В-третьих, объемная дилатансия образцов пород вызывает заметное изменение скорости распространения в них упругих волн.

Еще в 1961 г. Н. А. Еременко высказал предположение о возможности миграции флюидов по тектоническим трещинам под влиянием так называемого «поршневого» механизма. Его суть состоит в том, что при раскрытии трещин между ними и матрицей пород создается большой перепад давлений, что может обеспечивать всасывание жидкости (в том числе нефти, газа) в полость трещин. При закрытии последних из-за различий в матричной и трещинной проницаемости жидкость будет передвигаться вдоль трещин. Это вполне вероятное явление прямыми экспериментами пока не изучено, однако возможность его природной реализации подтверждается особенностями формирования так называемых гидродинамических и гидрогеохимических аномалий — предвестников землетрясений.

Расширяющаяся с каждым годом сеть геодинамических полигонов в сейсмоактивных зонах Земли позволила добиться довольно заметных успехов в изучении характера изменения физико-механических свойств горных пород перед землетрясениями. По существу, все они являются реакцией на вариации напряженного состояния земной коры при тектонических (и приливных) движениях. В результате в системе горные породы — флюиды формируются в основном короткопериодные аномалии: скоростей упругих волн, поверхностно-деформационные, электрические, магнитные, гидродинамические, гидрогазохимические и др. Как правило, они проявляются на обширных площадях (тысячи и даже миллионы квадратных километров), в эпицентральных участках которых в экстремальных условиях происходят землетрясения.

Достаточно активная современная динамика характеризует многие геологические структуры закрытых территорий и особенно разломного типа. В частности, это связано с тем, что интенсивное развитие молодых структур территориально не ограничивается границами контактирующих плит. Например, исследование В. Г. Трифонова (1980 г.) показывают, что современные деформации горных пород внутри плит распространяются на сотни километров от их активных современных окраин. Это обусловлено, с одной стороны, вариациями напряженного состояния

внутриплитных массивов земной коры, с другой — резонансными откликами на тектоническую перестройку окраин плит в зонах их коллизии. Благодаря этим процессам, обеспечивающим интенсивный энерго- и массообмен в системе горные породы — флюиды, погребенные структуры геологически закрытых регионов фрагментарно проявляются на поверхности. «Следы» этих процессов в той или иной форме в основном и фиксируются на АФС КС.

Другой важной предпосылкой «просвечивания» глубинной «архитектуры» земной коры могут являться процессы, сопровождающие и отражающие динамику приливных движений земной коры. Последние, по данным А. Р. Кинзикеева и др., в ряде случаев способствуют активному дыханию флюидалльной компоненты водоносных комплексов.

Физико-механическую основу многих космофотоаномалий разного типа и ранга, дешифрируемых на геологически закрытых платформенных территориях, составляют тектонодинамические процессы, обуславливающие разнообразные деформационно-петрофизические преобразования флюидонасыщенных горных пород. Благодаря этому на земной поверхности возникают геохимические, гидрохимические и гидродинамические аномалии, часто локализующиеся внутри линейных зон повышенной проницаемости. Пространственно-временные особенности формирования таких аномалий довольно хорошо изучены и обнаруживаются на геодинамических полигонах сейсмоактивных регионов Земли.

В основе космофотоинформации о строении поверхности Земли лежит ее способность быть источником электромагнитного излучения. Последнее формируется как результат отражения и (или) вторичного излучения частично поглощенной Землей (как и ее атмосферой) солнечной энергии. Следует подчеркнуть, что Земля и сама способна генерировать и излучать электромагнитную энергию. В частности, А. А. Воробьевым, Е. К. Завадской, В. Н. Сальниковым установлен факт электромагнитного излучения в радиодиапазоне при нагревании и разрушении горных пород, а М. А. Садовский, Г. А. Соболев, Н. И. Мигунов допускают, что трещинообразование в земной коре также может сопровождаться возникновением электромагнитного излучения. Эти еще малоизученные явления, обычно не привлекающие внимания, могут иметь большое значение для понимания природы так называемого «просвечивания» глубинной структуры земной коры. Структура такого собственного первичного электромагнитного излучения зависит от динамики земной коры, изменяющейся во времени и пространстве. Поэтому, если будет решена задача надежной фильтрации этой компоненты суммарного электромагнитного излучения, появится возможность получения дистанционных материалов специальных видов, непосредственно характеризующих некоторые элементы структуры коренных пород на геологически закрытых территориях.

Зоны мезотрещиноватости, являющиеся с физико-механических позиций поясами неоднородности структурно-вещественных комплексов различного масштаба, фиксируют неоднородность напряженного состояния литосферы в данном регионе. В масштабе месторождения или их группы зоны мезотрещиноватости фиксируют зональные неоднородности, возникшие в результате перестройки исходного поля напряжений, вызванной рядом тектонических процессов, в том числе: сменой поля напряжения в результате орогении и приходом «резонансной волны»; регенерацией тектонической активности разломов древнего заложения и разной глубины в новейшее время с иными вектором напряжения и типом перемещения, например с преобладанием сдвиговой составляющей; положением вблизи границ тектонических элементов с одно- или многоразовым переменным знаком тектонических движений; активизацией на новейшем этапе движений разной интенсивности погребенных под чехлом осадочных пород блоков фундамента и др.

По нашему мнению, наиболее весомая причина, в основном ответственная за появление упорядоченных зон мезотрещиноватости на платформах, — перемещение «микроплит», совокупность которых и образует основные континентальные плиты. Исходя из этой концепции с помощью анализа пространственной ориентировки зон мезотрещиноватости и их совокупностей и особенно узлов сопряжений можно достоверно выделять конкретные «микроплиты» и адресовать эти зоны к их контактам. Тектонодинамический анализ и пространственно-временные региональные реконструкции воссоздают условия их возникновения и причины возмущения исходного поля напряжений.

По существу, на КС в том или ином виде находят отражение два процесса: новейшая деформация пород, нередко развивающаяся на более древнем «структурном каркасе», и динамика насыщающих их флюидов. Причем, если первый может быть изучен в большей мере и без КС с помощью обычных приемов структурно-геоморфологического анализа, то признаки второго по косвенным показателям распознаются в основном при дистанционном зондировании поверхности. И здесь важная роль принадлежит повышению надежности интерпретации материалов специальных видов космических съемок.

Совместное изучение названных процессов и их производных мы выделяем в новое самостоятельное направление дистанционных исследований — тектонодинамическое, понимая под динамикой изменение какого-либо явления под влиянием действующих на него факторов, в данном случае — тектонических сил (напряжений). Таким образом, тектонодинамика как раздел геодинамики призвана изучать изменение состояния горных пород и насыщающих их флюидов под влиянием нелинейно-перемещенных тектонических напряжений.

В зависимости от размеров объектов исследования можно различать региональную и локальную тектонодинамику, а во

взаимосвязи с сопряженным процессом — тектонодинамикой онтогенеза нефти и газа, тектонодинамикой гидротермальных процессов, тектонодинамикой грязевого вулканизма и т. д., по времени реконструкции — палеотектонодинамику и современную тектонодинамику.

Собственно в области геологии нефти и газа такие исследования уже начаты и успешно проводятся под руководством О. Л. Кузнецова во ВНИИгеоинформсистем, Н. В. Черским и В. П. Царевым в ЯФ СО АН СССР, Г. И. Амурским, Н. Н. Соловьевым во ВНИИГАЗе и др. В частности, перспективен осуществленный В. Ю. Зайченко и др. в 1981 г. анализ связи месторождений нефти и газа с областями зонально-кольцевого проявления физических, химических и биологических полей, формирующихся над геодинамически активными центрами в земной коре. Заслуживает разработки представление о деформационно-волновой природе кольцевых фотоаномалий локального уровня. Анализ особенностей их проявления и распределения в нефтегазоносных регионах, проведенный Г. И. Амурским и Н. Н. Соловьевым в 1982 г., может использоваться при реконструкции и прогнозировании условий раздельной локализации нефти и газа.

Однако необходимо иметь в виду, что на схемах дешифрирования КС могут выделяться в некоторых случаях многочисленные фотоконвергентные «структуры», т. е. ложные объекты, по облику подобные геологическим, но фактически обусловленные иными причинами, преимущественно физико-географическими. Одни из них могут относиться к области оптических эффектов, возникающих при естественном стремлении органов зрения и мышления обнаружить геометрические закономерности в хаотическом наборе элементов природно-ландшафтных комплексов. При определенной группируемости множества линеаментов разных направлений, рангов и природы на КС всегда можно «увидеть» набор почти правильных многоугольников, находящихся в сложном взаимоотношении. Нередко, принимая во внимание некоторую расплывчатость выраженности большинства линеаментов, даже без большого воображения такие многоугольники можно интерпретировать как кольцевые структуры.

К фотоконвергентным ошибкам иного типа относится порой выделение дуг большого диаметра как элементов структур центрального типа. При региональных построениях разломы почти всегда принято считать и изображать прямыми линиями. За исключением довольно редких кольцевых и (или) разновозрастно-составных систем разломов, это верно (и то не всегда) только для строго вертикальных расколов. Но они редки. А чем больше наклон поверхности сместителя, чем больше она отклоняется от плоскости и чем протяженнее разлом, тем более дугообразным будет след его пересечения с шарообразной поверхностью Земли. Для надвигов и шарьяжей такая форма поверхностного выхода неизбежна.

На наш взгляд, тектонодинамическая интерпретация результатов дешифрирования КС нефтегазоносных территорий позволит существенно расширить возможности этого метода при прогнозировании и изучении перспективно нефтегазоносных объектов.

III.2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОМЫСЛОВЫХ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ В КОМПЛЕКСЕ С ДИСТАНЦИОННЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Зарождение методов оценки трещиноватости горных пород было связано с практическими нуждами инженерно-геологических исследований при строительстве крупных промышленных сооружений и в приповерхностном горнодобывающем производстве. Этим в первую очередь и определялась визуально-статистическая методическая направленность разрабатываемых приемов таких исследований, так как практически во всех случаях имелся непосредственный доступ к объекту изучения. Следует подчеркнуть, что накопленный при этом богатый опыт и установленные закономерности в распределении разномасштабных трещин в последующем были с успехом использованы при изучении погребенных объектов. Однако этого оказалось недостаточно для однозначного описания параметров трещиноватости пород на нефтяных и газовых месторождениях, так как многие трещины на глубине по сравнению с их поверхностным выражением приобрели иные качественные и количественные характеристики.

Крупноблочная делимость земной коры обеспечивается широким набором разнообразных тектонических контактов, представленных либо отдельными дизъюнктивами с видимым смещением, либо (чаще) протяженными зонами разрывов. Обычно они определяют внешние границы крупных нефтегазоносных регионов (например, нефтегазоносных бассейнов) и разграничивают в их пределах самостоятельные нефтегазоносные области, зоны нефтегазонакопления. Внутрибассейновые мегатрещины бывают ответственны главным образом за стратиграфическую высоту этажа нефтегазоносности и формирование разнообразных типов ловушек нефти и газа. Условия дешифрируемости разрывов сплошности пород такого типа, особенно если они остаются активными и в новейшее время, достаточно хорошие. Это позволяет использовать КС разных масштабов для уточнения и детализации схем нефтегеологического районирования. Как правило, результаты линеamentного анализа КС фрагментарно могут быть проверены традиционными геолого-геофизическими методами.

Для нефтегазовой геологии, однако, гораздо большее значение имеет трещиноватость осадочных толщ, включающих нефтегазоносные комплексы. Она оказывает заметное, а в неко-

торых случаях решающее влияние на динамику пластовых флюидов как в породах-коллекторах, так и в породах-покрышках. В конечном итоге трещиноватость бывает ответственной и за все виды миграции углеводородов (первичная, собирательная, латеральная, вертикальная и т. д.), и за особенности локализации нефти и газа, и за продуктивность (нефтегазоотдачу) коллекторов.

Трещиноватость осадочных пород нефтегазоносных бассейнов представлена трещинами разнообразного генезиса: складчатými (локального деформационного разуплотнения пород при складкообразовании), при-, меж- и надразломными, физико-химического преобразования пород, литогенетическими, выветривания и т. д. Особую группу микротрещин составляют дилатансионные, генетически связанные с сейсмогенерирующими процессами. Трещиноватость названных типов характеризуется весьма разнообразными формами проявления, пространственным и литолого-стратиграфическим положением, размерами и плотностью элементарных трещин.

В отдельных случаях могут быть опознаны при дешифрировании линейные системы трещин, генетически связанные с конкретными дизъюнктивами. Иногда возможно выделение ареалов трещин дилатансии, которые могут создавать условия, благоприятные для возникновения площадных поверхностных газо- и термоаномалий.

Помимо форм мега- и микроделимости осадочных пород в ранг самостоятельной следует выделять мезоделимость. Последняя определяется своеобразными, сравнительно протяженными дизъюнктивами без видимого смещения (мезотрещинами) и их системами. Так как подробная характеристика этой категории трещиноватости была приведена ранее, здесь лишь подчеркнем, что при дешифрировании КС конкретных газовых (нефтяных) месторождений линеаментный анализ мезотрещиноватости позволяет получить в ряде случаев наиболее важную дополнительную информацию.

Установление все более многочисленных фактов приуроченности залежей нефти и газа к трещинным коллекторам (в первую очередь, карбонатным, часто обладающим очень низкой поровой проницаемостью) потребовало разработки новых специальных методов изучения трещиноватости горных пород на объектах нефтяной и газовой промышленности. Одним из первых практически значимых явился метод больших шлифов, разработанный в ВНИГРИ Е. М. Смеховым и др. в 1958, 1959 гг., получивший наиболее широкое распространение. Несмотря на его очевидные достоинства, прежде всего состоящие в возможности непосредственного изучения пород, он обладает рядом существенных ограничений. Главное из них заключается в крайне низкой доле объемного охвата объекта исследований, к тому же весьма сильно зависящего от выноса представительного керна.

К настоящему времени теоретически разработано довольно

много методов (литолого-петрографических, геофизических, гидродинамических, ландшафтно-геоморфологических), прямо или косвенно позволяющих судить о трещиноватости горных пород на глубине. Однако далеко не все они находят достаточно широкое применение либо из-за сложности и неоднозначности интерпретации, либо из-за ограничений в возможности использования, либо из-за невозможности получить надежные количественные характеристики. И уже сам факт большого разнообразия предлагаемых методов служит свидетельством того, что, по существу, ни один из них пока не обладает достаточной разрешающей способностью для получения корректной информации об объекте исследования.

Характеристику существующих методов изучения микротрещиноватости погребенных горных пород можно найти в специальной литературе (К. И. Багринцева, 1982 г.; И. Г. Гольбрайх и др. [33]; Т. В. Дорофеева, 1986 г.; Р. С. Копыстьянский [23]; В. Н. Майдебор, 1971 г.; Е. М. Смехов, М. Х. Булач, И. А. Волков и др., 1969 г.; В. А. Тхостов, А. Д. Везирова, Б. Ю. Вендельштейн и др., 1970 г.).

Для получения объективного представления о преимуществах и недостатках известных методов оценки трещиноватости и их сравнительного анализа целесообразно систематизировать их по ряду признаков. По отношению к объекту исследования следует выделять дистанционные и непосредственные методы получения информации. Последние могут быть прямыми (например, изучение трещин в шлифах, керне или по фотокаротажу) и косвенными (например, изучение трещиноватости посредством электрического и акустического каротажа), а по характеру получаемых результатов — количественные и качественные, по масштабу и пространственному положению объема исследуемой части объекта изучения — площадные, профильные, зонально-объемные, локально-площадные и локально-точечные.

Подчеркнем, что объем исследуемой части продуктивных пластов на нефтяных и газовых месторождениях по данным, приведенным в работе В. Г. Каналина (1984 г.), колеблется: по лабораторным анализам керна — от 0,00004 до 0,00016 %, по промыслово-геофизическим материалам — от 0,022 до 0,088 %, по гидродинамическим — от 35,3 до 70,6—100 %. И хотя приведенные цифры далеко не в полной мере отражают возможности получения информации о трещиноватости пород, ясно, что литолого-петрографические исследования керна и шлифов по объему получаемой информации не в состоянии конкурировать с другими методами. Однако последние, как правило, не позволяют получить количественную характеристику трещиноватости пород в чистом виде.

К числу методов, дающих представление о площадном распределении трещиноватости горных пород нефтегазоносных областей, можно отнести ландшафтно-геоморфологические и полевые геофизические. Сущность ландшафтно-геоморфологических

методов (и особенно линеаментного анализа МДС) подробно излагалась выше. В основе полевых геофизических методов лежит способность трещиноватости горных пород обуславливать возникновение аномалий в естественных и искусственных полях — акустическом, электрическом, гравитационном, магнитном.

Наиболее широко и практически повсеместно для решения структурных задач, включая выделение разрывных нарушений и зон дробления (трещиноватости), применяют сейсмические методы. Вследствие специфики проведения сейсморазведочных работ качество получаемой информации в значительной мере зависит от количества, плотности, взаимного положения профилей и применяемой модификации сейсмических исследований. Обычно наряду с трассированием разрывных нарушений в пределах изучаемой территории сейсморазведка позволяет получить сведения об их положении в разрезе.

При проведении грави-, магнито- и электроразведки зоны разрывных нарушений, дробления или тектонического разуплотнения горных пород картируются в виде характерных полосовых аномалий. К сожалению, далеко не всегда удается правильно стратифицировать искомый возмущающий объект и установить его удельный вес в формировании аномалий геофизических полей.

Все полевые геофизические методы, как и ландшафтно-геоморфологические, по сути дистанционные, дающие в основном качественную характеристику объекта исследований. Объективным недостатком полевых геофизических методов изучения трещиноватости горных пород является неоднозначность интерпретации получаемой информации, так как возникновение аномалий физических полей может быть связано с зонами литологического замещения и резкого изменения пористости или кавернозности пород. Вместе с тем рассмотренные методы обладают несомненным преимуществом, поскольку позволяют уже на региональном этапе, до бурения глубоких скважин, получить первое представление о распространении и некоторых особенностях зон повышенной трещиноватости на уровне перспективных на нефть и газ отложений. В свою очередь, эти сведения могут оказаться полезными при формировании тактики проведения последующих более детальных геолого-геофизических работ. Важное значение в выборе объектов таких работ имеют результаты дешифрирования КС и АФС.

По мере увеличения объемов и усовершенствования методов геофизических (в основном сейсмических) исследований в практике нефтегазопромысловых работ все более утверждалось мнение об их исключительной роли при выявлении перспективных на нефть и газ структур. Накопленный багаж геофизических материалов (особенно в части неуверенно интерпретируемых) нуждается в ревизии с учетом информации, получаемой с разновременных, разномасштабных МДС. А поскольку наилучшую дешифрируемость имеют линейные (разломные) структуры, то

при комплексировании МДС и геофизических работ приоритет должен отдаваться изучению трещиноватости пород осадочного чехла, главным образом разномасштабных дизъюнктивов и зон дробления.

С завершением бурения поисковых, а затем разведочных и эксплуатационных скважин появляется возможность применения качественно иных методов изучения трещиноватости горных пород — гидродинамических, скважинно-геофизических, литолого-петрографических и др. По величине объема исследуемой части продуктивного пласта месторождения (залежи) вне конкуренции находятся гидродинамические методы, в разработке которых принимали участие Г. И. Баренблатт, С. Н. Бузинов, И. В. Волков, Ю. П. Желтов, Г. А. Зотов, Ю. П. Коротаев, Ф. И. Котяхов, Б. В. Позиненко, И. Д. Умрихин, Б. С. Чернов и др. Использование этих методов для изучения трещиноватых сред основано на способности трещиноватости обуславливать существенную фильтрационную анизотропию трещинных коллекторов и на различии скоростей распространения волн давления в поровом и трещинном пространстве.

Как правило, гидродинамические методы позволяют получать обобщенную зонально-объемную характеристику продуктивного пласта в радиусе дренирования исследуемых скважин. В процессе исследований в соответствии с теорией определяют такие параметры пласта, как проницаемость, гидропроводимость, пьезопроводность, трещинная пористость, удельная поверхность трещин и др. По кривым восстановления давления (КВД) уверенно определяют наличие и пространственное положение экранирующих разломов. На практике (не считая исследований по КВД), к сожалению, крайне трудно получить дифференцированную информацию о структуре и фильтрационных свойствах порового и трещинного пространства. При обработке индикаторных кривых восстановления давления снимается обобщенная суммарная характеристика порово-трещинной среды фильтрации, выделение доли трещинной составляющей из которой зависит от практического опыта интерпретатора и всегда субъективно. Поэтому в большинстве случаев изучение трещиноватости горных пород гидродинамическими методами без использования материалов других видов исследований не дает представительных сведений об объемном распределении трещиноватости. Кроме того, существующие методы расчета искоемых параметров выведены на идеализированных моделях трещиноватых пород, весьма приближенно аппроксимирующих реальные условия.

Локально-площадная (вдоль ствола скважины) информация о трещиноватости горных пород может быть получена с помощью промыслово-геофизических исследований. Теоретической основой этих методов служит зависимость распространения электрического тока и упругих колебаний от структуры пустотного пространства пород, которая существенно изменяется при

наложении на межзерновую пористость ориентированных систем трещин, как, впрочем, и вторичных пустот выщелачивания. В разработку этих методов наиболее существенный вклад внесли Я. И. Басин, Б. Л. Берман, И. И. Горюнов, Ю. И. Кузнецов, В. С. Нейман, А. М. Нечай, Б. В. Позиненко и др. Предложенные методы претендуют на возможность количественной оценки параметров трещиноватости. Однако полученные аналитические зависимости между ними и геофизическими полями базируются на моделях трещиноватых пород, крайне идеализирующих изучаемые объекты. Поэтому в большинстве случаев с помощью этих методов не удается получить достоверную количественную оценку чисто трещинной составляющей пустотного пространства горных пород. Кроме того, на точность определения параметров трещиноватости заметно влияют изменения литологического состава пород-коллекторов и включения каверн (главным образом в карбонатных породах).

В СССР оценка объема трещинных коллекторов на месторождениях в ряде случаев осуществлялась геофизическими методами, которые дополнялись или проводились в совокупности с гидродинамическими методами, описанными В. М. Майдеборм, В. М. Добрыниным. Однако все эти методы требуют наличия достоверных параметров пластов-коллекторов — плотности, объема эффективных трещин, упругих характеристик породы и т. д.

По мнению Р. С. Копыстьянского [23], для выделения зон трещиноватости может оказаться эффективным акустический каротаж в сочетании с анализом кривых самопроизвольной поляризации (ПС) и газового каротажа. Акустический каротаж дает резкое затухание энергии упругих волн при прохождении через зоны трещиноватости, но так как повышение затухания может быть вызвано тонкослонистостью и глинистостью, слабой сцементированностью пород или их газонасыщенностью, необходимо привлечение дополнительных данных по кривым ПС, газовому каротажу и скорости продольных волн.

Зоны мезотрещиноватости и составляющие их частные элементы — трещины — играют первостепенную роль в плотных коллекторах, обеспечивая достаточно проницаемые пути для поступления флюида из пласта в скважину. Суммарный объем трещин (его доля в средней пористости) может быть очень мал в сравнении с общим объемом пустот коллектора.

Иногда матрица коллектора и система трещин так плохо связаны между собой, что бывают насыщены различными флюидами. Добыча из заполненных углеводородами трещин в водоносных отложениях может быть высокой, но весьма кратковременной. Положение и некоторые свойства зон мезотрещиноватости, пересекаемых скважиной, могут быть установлены по их влиянию на показания отдельных видов каротажа.

Влияние трещин на показания каротажа, по данным И. Шней и И. Гартнера (I. Snau, I. Gartner, 1980 г), зависит от таких па-

раметров, как направление трещиноватости (вертикальное или горизонтальное), ширина и длина трещин, состав заполняющей жидкости (фильтрат, вода, углеводороды).

Микроустановки исследуют весьма малый объем пород, прилегающий к стенке скважин. Естественно, они могут полностью пропустить трещины, но если и отмечают их, то только заполненные фильтратом или раствором. Поэтому зона трещиноватости проявится как заметная аномалия проводимости на показаниях микроустановок.

На показания индукционного каротажа обычно не влияют любые вертикальные трещины и заполненные углеводородами горизонтальные трещины. Заполненные же минерализованной (проводящей) жидкостью горизонтальные трещины могут образовывать относительно большую аномалию проводимости на соответствующей каротажной диаграмме.

Главные преимущества акустического каротажа состоят в том, что этот метод, определяющий механические свойства пород, не слишком чувствителен к влиянию скважинных условий, свободен от статистических вариаций и в более общем случае от случайных ошибок в плотных породах, где ожидается наличие трещин. Акустический каротаж может реагировать и на другие особенности пород, с его помощью можно отличать открытые трещины от закрытых. На практике трещины большого размера, в частности субгоризонтальные, создают пропуск циклов на нормальной кривой времени пробега, который служит превосходным указателем трещин в плотных породах.

Зоны трещиноватости иногда могут отмечаться небольшим уменьшением диаметра скважин, связанным с наличием утолщенной глинистой корки. Чаще, однако, эти зоны фиксируются увеличением диаметра скважин в одном направлении (эллипсоидность), вызванным выкрашиванием пород вдоль трещин. Запись диаметра скважины в двух взаимно перпендикулярных направлениях, проводимая одновременно с регистрацией показаний накломера, особенно полезна в таких случаях. Другая, часто наблюдаемая особенность зон с предполагаемой вертикальной трещиноватостью — уменьшение скорости вращения зонда накломера.

Поскольку открытые трещины обычно заполнены промывочной жидкостью, то на кривой термокаротажа в этих участках отмечаются отрицательные температурные аномалии.

Против зон трещиноватости кривая ПС часто неустойчива, что связано, по-видимому, с потенциалами фильтрации. Поскольку кривая ПС не всегда достаточно достоверна в плотных породах, она может быть использована лишь как дополнение к другим измерениям. Повышение показаний газового каротажа в зонах трещиноватости обусловлено не столько увеличением глинистости вокруг трещин, сколько отложением урановых солей в трещинах.

Промыслово-геофизические исследования по сравнению с гидродинамическими при прочих благоприятных условиях позволяют получить более детальные модели распределения трещиноватости в объеме продуктивных пластов. Однако интерполяция, а тем более экстраполяция полученных данных за пределы околоскважинного пространства может привести к грубым ошибкам в объемной оценке трещиноватости. В связи с этим дальнейшую обработку полученных данных целесообразно ставить в зависимость от результатов дистанционного изучения трещиноватости, в первую очередь линейметного анализа МДС и соответствующих модификаций сейсмо- и электроразведки, которые дают приближенное представление о площадном распределении максимумов и минимумов трещиноватости.

Среди локально-точечных методов изучения трещиноватости горных пород несомненный приоритет принадлежит литолого-петрографическим исследованиям. По существу, это единственный способ прямой оценки параметров трещиноватости. Поэтому, несмотря на уже отмеченные выше основные ограничения, его применение должно быть обязательным. Следует подчеркнуть, что успешная интерпретация результатов изучения трещиноватости горных пород по керну скважин предполагает необходимость их тщательного комплексирования с материалами других видов исследований. Помимо уже названных способов изучения трещиноватости целесообразно использование данных механического каротажа и фототелекаротажа.

Оценивая потенциальные возможности опосредованного выявления зон повышенной трещиноватости по изменению скорости проходки (разбуривания пород), необходимо иметь в виду, что последняя чаще определяется не столько делимостью пород, сколько их твердостью. В зависимости от интенсивности трещиноватости пород ставят выход керна из продуктивных отложений. Это безусловно справедливое с физико-механических позиций положение, на наш взгляд, нередко слишком вольно интерпретируется при анализе фильтрационной неоднородности трещиноватых пород. Действительно, способность пород к дроблению увеличивается по мере возрастания количества особенно хаотически ориентированных трещин, резко снижающих их связность. Однако в пределе трещинная проницаемость таких пород в пластовых условиях существенно снижается, так как беспорядочные комплексы микротрещин при такой ситуации обычно представлены их волосными разновидностями, обладающими минимальной проницаемостью. Отсюда становится очевидным, что слабая охарактеризованность керном, как и хорошая буримость, отнюдь не всегда свидетельствуют о более высоких фильтрационных свойствах трещиноватых пород.

В числе других способов получения информации о трещиноватости пород на антиклинальных структурах необходимо упомянуть способ, основанный на исследовании кривизны деформированных поверхностей. Исследования в этом направлении про-

водились В. А. Агамовым, Г. И. Амурским и Н. Н. Соловьевым, М. Д. Белониным, Л. Д. Кнорингом, Ю. Г. Самойловичем и др. Теоретически оценка степени изменения объема пород (главным образом карбонатных) при складкообразовании в сочетании со сравнительным анализом кривизны пласта позволяет оценить среднюю трещинную пористость пород, вовлеченных в объем ловушки, и характер ее распределения по элементам структуры. К сожалению, практическая реализация этого направления исследований показала трудно преодолимую неоднозначность в определении и учете таких факторов, как деформационное расширение пород, скорость их деформации и др. Тем не менее с появлением более представительных экспериментальных данных, описывающих процесс складкообразования и деформационные свойства горных пород, эти трудности в значительной мере могут быть преодолены. Тогда упомянутый метод может приобрести право на широкое использование, тем более что его реализация базируется на необходимом минимуме информации (структурная основа и литолого-петрографическая характеристика разреза). Эти сведения могут быть получены уже на этапе поисков месторождений.

Краткая характеристика существующих разноплановых методов изучения трещиноватости погребенных горных пород показывает, что каждый из них в отдельности не обеспечивает возможности получения необходимой и достаточно достоверной искомой информации. Однако ее уровень может быть существенно повышен за счет своевременного и корректного комплексирования и последовательного применения различных методов. В ряду таких методов заметное место может и должно принадлежать линеаментному анализу МДС. Его результаты необходимо использовать на различных этапах проведения геологоразведочных работ на нефть и газ и при промышленном освоении их месторождений.

Использование КС при выделении и изучении зон мезотрещиноватости должно производиться по нескольким направлениям. Первоначальное и главное направление — выделение и трассирование зон мезотрещиноватости в пределах района, складки, месторождения. Вторая интерпретационная задача включает тектонодинамический анализ и реконструкцию.

Дешифрирование КС позволяет, в отличие от других методов, сравнительно оперативно и не привлекая натурные измерения, устанавливать определенные тектонодинамические обстановки в конкретных структурно-вещественных комплексах. Наибольшую значимость при изучении тектонодинамической обстановки по МДС имеет морфологический анализ тектонической трещиноватости, косвенно отражающей напряженное состояние рассматриваемого участка литосферы.

Трассирование линеаментных зон разномасштабных дизъюнктивов и деформационного разуплотнения горных пород оказывается практически важным при решении следующих задач:

целевой постановке детальных полевых геофизических исследований, ориентированных на выявление и изучение разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости горных пород; определении на площади антиклинальных структур участков с наиболее сложными горно-геологическими условиями бурения глубоких скважин;

локализации в разрезе интервалов, способных к интенсивному поглощению промывочной жидкости;

определении оптимальной сетки размещения разведочных скважин с целью более рационального применения существующих методов количественной оценки трещиноватости продуктивных отложений;

выборе мест размещения специальных (наблюдательных, пьезометрических и т. д.) скважин, когда необходимо учитывать фильтрационную неоднородность продуктивных отложений;

регулировании отборов нефти и (или) газа в отдельных эксплуатационных скважинах в зависимости от их позиции относительно зон, предрасположенных к опережающему обводнению и т. д.

Систематизация нарушений сплошности горных пород должна удовлетворять следующим основным условиям:

обнаруживать реальные пути достижения поставленных целей прикладного характера, в частности расширять возможности интерпретации результатов дешифрирования КС нефтегазоносных территорий;

быть достаточно простой, но емкой для обеспечения дальнейшего углубления в иных направлениях;

давать ясное представление о роли трещин различных типов и рангов в процессах нефтегазонакопления и решении задач освоения газовых (и нефтяных) месторождений;

отражать формы тектонической дезинтеграции горных пород на нефтегазовых объектах, которые могут быть изучены по КС в комплексе с другими геолого-геофизическими материалами.

III.3. ЗОНЫ МЕЗОТРЕЩИНОВАТОСТИ — ОСОБАЯ КАТЕГОРИЯ ЛИНЕАМЕНТНЫХ СТРУКТУР

Изучение зон мезотрещиноватости заслуживает особого внимания ввиду важности прогнозирования зон разуплотнения и дробления на уровне продуктивного комплекса при решении задач нефтегазовой геологии.

Зоны мезотрещиноватости выделяются на крупномасштабных КС и высотных АФС в виде зон сгущения линеаментов шириной до нескольких километров и длиной до нескольких десятков километров, состоящих из многочисленных сравнительно коротких (1—4 км) субпараллельных линеаментов — мезотрещин. Генетическая природа этих зон определяется по их соотношению с пликративными и дизъюнктивными структурами.

По имеющимся наблюдениям зоны мезотрещиноватости характеризуются следующими особенностями:

представляют собой упорядоченные системы с выдержанными ориентировками единичных линеаментов;

независимо пересекают ареалы различных категорий рельефа, ландшафтов, литофациальных и стратиграфических ассоциаций горных пород без изменения ориентировки;

обладают существенной независимостью (дискордантностью) от пликативной тектоники — пересекают не меняя простирания контуры складок под разными углами к их оси, причем ориентировка отдельных элементов зон мезотрещиноватости, как правило, не связана с ориентировкой и морфологией антиклинального изгиба пластов и отдельных элементов складки;

при различной ширине зон мезотрещиноватости преобладает многокилометровая, часто превышающая размеры складки, интенсивность мезотрещиноватости (плотность трещин) обычно не увеличивается в контуре складки;

имеют сложное, неоднозначное соотношение с известными разломами — последние лишь в отдельных случаях и на ограниченных участках совпадают с зонами мезотрещиноватости, а установленные бурением разрывы в осадочных породах на локальных складках далеко не повсеместно находят отражение на КС;

внутренняя структура зон мезотрещиноватости часто, даже на платформенных территориях, представлена разными системами сочетания линеаментов, отражающих системы различной морфологии (ступенчатые, пилообразные, эшелонированные и др.);

нередко наиболее крупные зоны мезотрещиноватости сопровождаются системами зависимых сателлитных трещин.

В определенной мере некоторые из выделяемых разными авторами линеаментов несут элементы указанной диагностики зон мезотрещиноватости.

В. Д. Скарятин¹ при дешифрировании аэрофотоматериалов выделил в Горном Дагестане и Центральном Копетдаге региональные пояса (зоны) повышенной трещиноватости протяженностью в десятки километров, указал на независимое положение этих поясов по отношению к складчатой структуре и определил их как зоны наложенных (послескладчатых) трещин, связанных с проявлением более общих тектонических движений, выходящих за пределы отдельных локальных складок и проявившихся после завершения основной складчатости.

Н. Н. Абраменко и Э. А. Левков в 1979 г. выделили в Припятской впадине полосы строго ориентированных параллельных линеаментов шириной 0,5—3 км, прослеживающихся на десятки

¹ Скарятин В. Д. Классификация трещин и применение аэрофотосъемки и некоторых других методов при изучении трещиноватости горных пород.— В кн.: Труды II Всес. совещ. по трещинным коллекторам нефти и газа. М., Недра, 1965, с. 66—80.

километров (до 100 км), и указали на связь некоторых зон ли-неаментов с малоамплитудными разломами фундамента.

Е. С. Штенгелов [48] путем анализа дистанционных матери-алов и главным образом посредством наземной гаммаметриче-ской съемки установил во многих регионах СССР повсеместное распространение линейных зон трещиноватости, разделяемых блоками с отсутствием трещин. Эта сеть характеризуется опре-деленным плановым рисунком, образующим решетку. Зоны тре-щиноватости прослеживаются на несколько десятков километ-ров, их ширина составляет 0,3—6 км, ширина разделяющих бло-ков — 1—28 км. Все крупные зоны трещиноватости имеют слож-ную внутреннюю структуру, являясь комбинациями прямолиней-ных фрагментов, большей частью кулисообразных (см. рис. 6). Зоны трещиноватости независимо пересекают антиклинальные складки и не имеют однозначной связи с разломами.

Трудности изучения строения зон мезотрещиноватости по всему разрезу осадочного чехла заставляют внимательно рас-смотреть результаты их изучения по дистанционным материалам и данным наземных геоморфологических, геофизических, геохи-мических, гидрогеологических, инженерно-геологических иссле-дований.

Анализ результатов картирования по дистанционным мате-риалам и другими методами показывает, что зоны мезотрещино-ватости пересекают, не меняя ориентировки, контуры литостра-тиграфических ассоциаций пород независимо от их генезиса и возраста, а также различные генетические и возрастные кате-гории и крупные формы рельефа. Во многих случаях одни и те же зоны пересекают разновозрастные и разнохарактерные тек-тонические области, например Крымское горно-складчатое со-оружение и Скифскую плиту, Скифскую и Русскую плиты.

Геоморфологическое выражение зон мезотрещиноватости на платформенных равнинах характеризуется приуроченностью к ним молодых отрицательных мезо- и микроформ рельефа, обу-словленных линейно-очаговым развитием экзогенных процессов, связанных с разгрузкой подземных вод или инфильтрацией вод — эрозионных, суффозионных, карстовых, термокарстовых, заболачивания, осолончакования и др.

Во многих случаях, особенно в аридных условиях, на поверх-ности земли непосредственно наблюдается возникновение и рас-ширение вертикальных трещин отрыва, организованных в по-лосовидные зоны. В Центральных Кызылкумах Р. И. Ибраги-мовым, Д. Х. Якубовым, М. А. Ахмеджановым изучены верти-кальные трещины с зиянием 5 см и более, образующие зоны ши-риной 300—500 м.

В том же районе Г. П. Черепановым и А. С. Быковцевым на-блюдалась крупные трещины с шириной раскрытия до 2—3 м и протяженностью до 2 км, сопровождаемые множеством мелких трещин с зиянием около 10 см. Отмечается приуроченность тре-щинообразования к зонам крупных тектонических разрывов или

к их пересечениям, а также тесная связь периодов активизации процессов трещинообразования с периодами увеличения сейсмической активности.

Инженерно-геологическими исследованиями в ряде случаев в пределах зон трещиноватости установлено закономерное изменение физических свойств пород, обусловленное наличием открытой трещиноватости, — увеличение пустотности, уменьшение плотности, механической прочности, молекулярной влагоемкости, электропроводности, магнитной восприимчивости.

Гидрогеологические исследования показывают, что зоны мезотрещиноватости во многих случаях служат зонами разгрузки подземных вод, в том числе и напорных глубинных. Так, по данным опытных водонагнетаний и пробных откачек из гидрогеологических скважин, проницаемость горных пород (известняков) в зонах трещиноватости достигает $6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$.

Специальными исследованиями Е. С. Штенгелова (1976 г.) на весьма представительном материале выявлены приуроченные к зонам трещиноватости контрастные геохимические аномалии, обусловленные суффозией тонкодисперсного и органогенного материала подземными водами, — уменьшение концентрации многих акцессорных и рассеянных элементов (калия, натрия, лития, хрома и др.) и соответственно увеличение относительного содержания порообразующих элементов. Наиболее четко эта закономерность проявляется в карбонатных (известняки, мергели, доломиты) и других мономинеральных породах (гипсы, кварцевые песчаники, кварциты). Так, в карбонатных отложениях Крыма и Южной Украины концентрация элементов-примесей в пределах трещинных зон уменьшается в 10—20 раз, а содержание кальция увеличивается на 15—20%. За счет суффозионного выноса тонкодисперсного материала — главного источника радиоактивности, уменьшается гамма-активность пород, что определяет возможность картирования зон трещиноватости методом гамма-съемки (рис. 12).

Анализ соотношения зон мезотрещиноватости с полем новейших и современных напряжений и геодинамическими процессами отчетливо показывает их тесную связь. Сопоставление положения трещинных зон с данными натурных тензометрических измерений выявило, что векторы главных сжимающих напряжений перпендикулярны к зонам трещиноватости, но в пределах последних повсеместно наблюдается отсутствие напряжений сжатия, а все пункты, где зафиксированы напряжения или их признаки (горные удары, «стреляние» пород, углегазовые выбросы и др.), как показали исследования Н. К. Булина, Е. С. Штенгелова, приурочены к блокам нетрещиноватых пород, разделяющих трещинные зоны.

По материалам повторных триангуляций в ряде случаев наблюдается смещение геодезических знаков в стороны от зон трещиноватости (например, в Закарпатье, по данным Е. С. Штенгелова, на северо-восток и юго-запад от крупной зоны трещино-

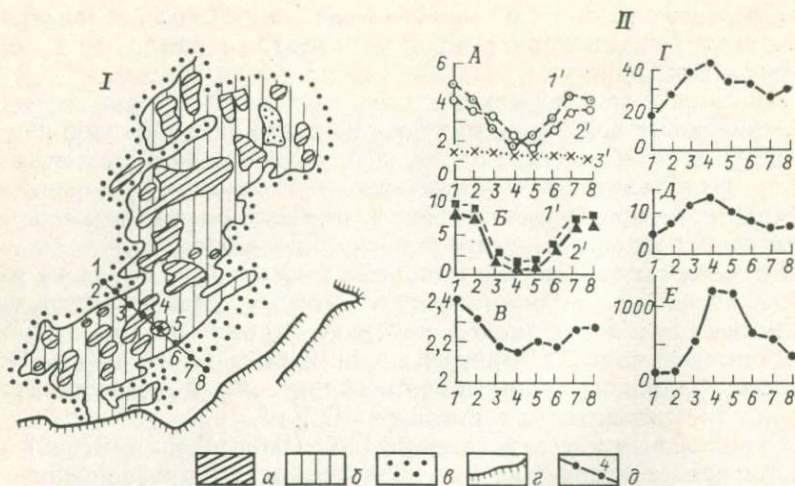


Рис. 12. Карабийская трещинная зона в Горном Крыму [48].

I — положение зоны по данным детальной гамма-съемки верхнеюрских известняков; *II* — графики изменения геофизических и литологических параметров известняков (на горизонтальных осях — номера пикетов): *A* — изменение гамма-активности известняков по профилю вкост зоны, мкР/ч (*I'* — по данным съемки, *2'* и *3'* — по лабораторным определениям соответственно на крупных и небольших образцах); *B* — изменение общего содержания в известняках нерастворимого остатка (*I'*) и количества глинистой фракции (*2'*); *B* — изменение плотности известняков, г/см³; *Г*, *Д* — изменение плотности соответственно поверхностных и подземных карстовых форм, шт./км²; *E* — изменение коэффициента фильтрации известняков по крупным образцам, м/сут. Участки с гамма-активностью известняков по данным съемки, мкР/ч: *a* — <2, *б* — 2–3, *в* — >3; *г* — бровка плато; *д* — профиль (*1*–*8* — номера пикетов)

ватости со скоростью до 5 мм/год). В ряде районов отмечается приуроченность к крупным зонам трещиноватости сейсмофокальных полей и другие признаки их связи с сейсмичностью.

Сопоставление и анализ результатов дистанционных и наземных исследований зон мезотрещиноватости позволяет сделать два важных вывода.

Во-первых, зоны мезотрещиноватости — это молодые (по крайней мере, неотектонические) и активные в настоящее время образования, наложенные на сложившуюся структуру осадочного чехла и пронизывающие, по крайней мере всю его верхнюю часть (включая и самые молодые отложения) и в значительной мере дискордантные его структуре. Этот вывод обосновывается независимым пересечением этими зонами тектонических областей, геологических и геоморфологических контуров и складчатых структур, выражением этих зон на земной поверхности молодыми формами рельефа, прослеживанием трещиноватости в наиболее молодых отложениях и современным трещинообразованием, а также закономерной связью этих зон с современными полями напряжений и геодинамическими процессами.

Во-вторых, зоны мезотрещиноватости возникают в условиях преимущественного растяжения, но даже при преобладании сдвиговой компоненты содержат фрагменты пород с открытой трещиноватостью, обеспечивающей формирование субвертикаль-

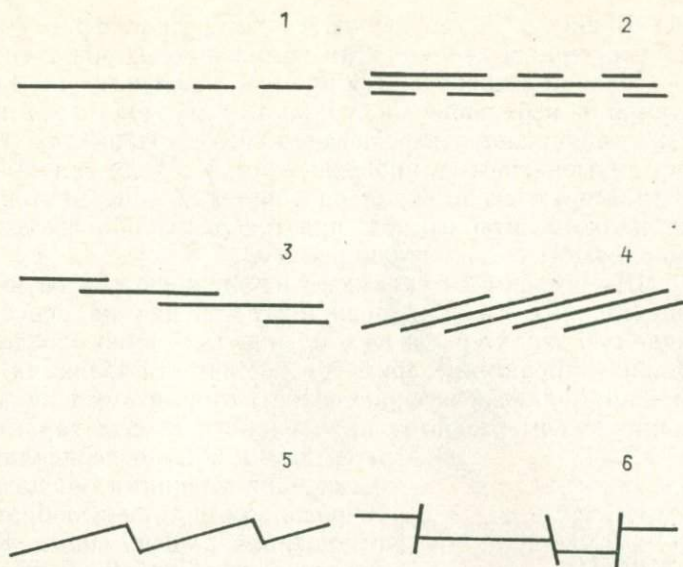


Рис. 13. Принципиальные схемы линейного (1), линейно-параллельного (2), эшелонированного (3), кулисного (4), пилообразного (5), клавишного (6) строения зон мезотрещиноватости (составили Г. А. Абраменок, Г. И. Амурский, Н. Н. Соловьев, 1984 г.)

ных флюидопроводящих каналов. Основанием для такого вывода служат следующие факты: приуроченность к зонам мезотрещиноватости зон разгрузки подземных вод и инфильтрации, проявляющаяся в гидрологических, гидрохимических, геоморфологических и литогеохимических особенностях этих зон, непосредственно наблюдающееся изменение петрофизических свойств пород в их пределах, приуроченность зон мезотрещиноватости к зонам растяжения в современном поле напряжений и наблюдаемое образование современных трещин отрыва.

Исследования авторов зон мезотрещиноватости по дистанционным материалам в различных регионах СССР показали, что они характеризуются различной и более или менее сложной внутренней структурой — составляющие их элементарные линеаменты образуют закономерные плановые рисунки, среди которых можно выделить: линейный, линейно-параллельный, эшелонированный, кулисный, пилообразный, клавишный типы (рис. 13) и их более сложные сочетания.

Степень проработки деталей планового строения зон мезотрещиноватости линеаментными рисунками существенно зависит от масштаба дешифрируемых космofотоматериалов (рис. 14). Несомненно, что плановое разнообразие типов линеаментов и их сочетаний отражает разнообразие кинематических особенностей развития зон мезотрещиноватости, формирующихся как в обстановках преобладающего растяжения, так и в условиях проявления деформаций сдвига.

В. И. Башилов [9] подчеркивает дискретное, фрагментарное в плане строение выделяемых им надразломных зон трещиноватости — зоны не располагаются вдоль всей линии разлома, а локализуются в небольшие овалы размером около 2×4 км, которые и отображаются на дистанционных материалах. Именно поэтому дизъюнктивы не прослеживаются в виде сплошных линий, а трассируются по серии разобщенных линейментов, которые на мелкомасштабных КС при генерализации изображения обычно сливаются в сплошную полосу.

Е. С. Штенгелов [48] указывает на сложную плановую структуру выделенных им зон трещиноватости как на повсеместно наблюдаемую характерную их особенность — имея определенное генеральное направление, зоны трещиноватости являются комбинациями прямолинейных фрагментов, которые в отдельных случаях параллельны главному направлению, иногда характеризуются двумя обычно перпендикулярными направлениями, но чаще всего

расположены кулисообразно по отношению к оси зоны. Кулисы представляют собой прямолинейные, линзовидные в плане участки с максимальной интенсивностью открытой трещиноватости длиной несколько километров при ширине в несколько десятков или сотен метров, расположенные под углом $15-60^\circ$ к оси зоны; при этом наблюдается как правосторонняя, так и левосторонняя трансляция кулис (рис. 15). Е. С. Штенгелов предлагает два варианта объяснения кулисообразного распределения частных зон растяжения: 1) они представляют собой кулисообразные ряды трещин (зон) отрыва, возникающие при сдвиговых деформациях; 2) они являются результатом азимутального несоответствия ориентировок первичной анизотропии горных пород и направлений растяжения новейшего наложенного поля напряжений.

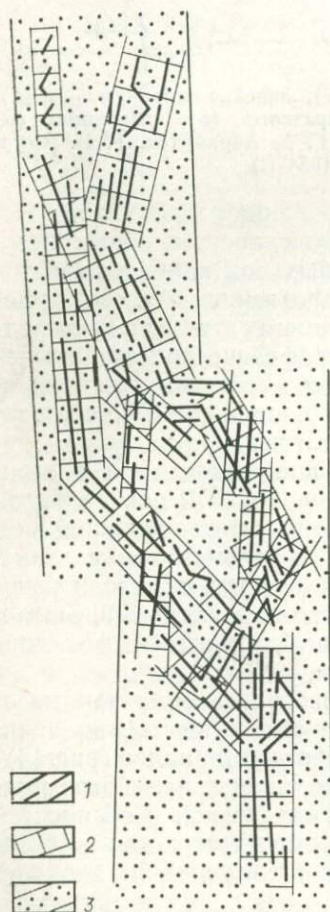


Рис. 14. Пример строения зоны линейментов на КС крупного (1), среднего (2) и мелкого (3) масштабов (составили Г. А. Абраменок, Г. И. Амурский, Н. Н. Соловьев, 1985 г.)

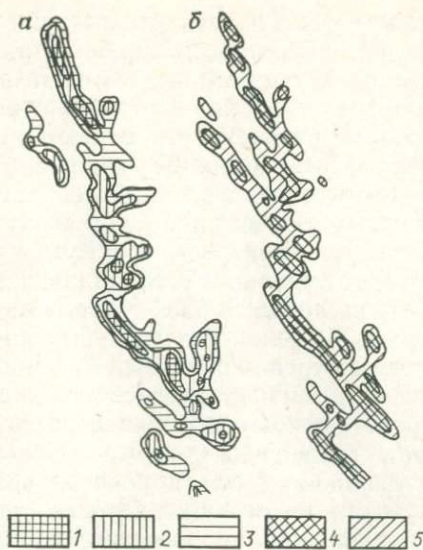


Рис. 15. Строение Березнеговатой трещиновой зоны в северо-западной части Причерноморья по данным морфоструктурного анализа (а) и гамма-съемки (б) [48].

Участки с разной плотностью геоморфологических линеаментов, км/км²: 1 — 2—2,5, 2 — 2,5—3,5, 3 — >3,5; участки с гамма-активностью неогеновых известняков, мкР/ч: 4 — >7, 5 — 5—7

Таким образом, по данным дистанционных и наземных исследований выявляется определенная фрагментарность (дискретность) и сложная плановая структура в строении зон мезотрещиноватости. Эта фрагментарность, вероятно, отражает дискретное распределение плотности разрывов оперения вдоль зон динамического влияния разломов, установленное Р. М. Лобацкой [28], — магистральный разрыв любого масштаба объединяет отдельные разрозненные деструктивные поля с аномально высокой плотностью сопутствующих разрывов, разделенные участками плотных минимумов. По М. В. Гзовскому, кулисные и пилообразные рисунки линеаментов, по-видимому, отражают обстановку сдвиговых деформаций, при которых возникают кулисообразные же ряды трещин отрыва.

Изучение дискретности и внутренней структуры зон мезотрещиноватости имеет важнейшее прикладное значение, так как не только дает материал для их кинематической характеристики, но и позволяет локализовать конкретные участки максимальной плотности трещин и повышенной флюидопроводимости.

Доказательство существования зон трещиноватости на глубине по разрезу осадочного чехла, в том числе на уровне продуктивного пласта, затруднительно и, как правило, требует постановки специальных целенаправленных исследований. Тем не

менее, многочисленные факты свидетельствуют о том, что дешифрируемые на дистанционных материалах зоны линейментов отражают зоны мезотрещиноватости всего разреза осадочного чехла. Доказательством глубинного заложения зон мезотрещиноватости служит приуроченность к ним грязевых вулканов (Юго-Западная Туркмения, п-ова Керченский, Бузачи и другие районы) и гидрохимических аномалий, свидетельствующих о разгрузке глубинных напорных вод.

Результаты водно-гелиевой съемки в Крыму и северо-западном Причерноморье, обобщенные В. М. Коробейником, М. В. Комаровой и Е. С. Штенгеловым в 1982 г., показали отчетливо выразительную линейность большинства гелиевых аномалий, хорошо совпадающих с зонами трещиноватости по данным дистанционных исследований и гаммаметрической съемки. Фиксируемые при этом зоны представляют собой очаги разгрузки в верхнюю часть земной коры гелиеносных термальных глубинных вод.

Наличие зон трещиноватости в разрезе осадочного чехла, соответствующих зонам мезотрещиноватости на дистанционных материалах, устанавливается детальными геофизическими исследованиями. Специально целенаправленные геофизические исследования на Курском полигоне [16] позволили подтвердить соответствие линейаментам обширных зон трещиноватости в осадочном чехле. Во многих случаях зоны мезотрещиноватости подтверждаются на глубине при сопоставлении материалов дешифрирования КС с уже проведенными геофизическими работами. В. И. Башилов [9] отмечает, что хорошо прослеживаемый опорный геоэлектрический горизонт на профилях вертикального электрического зондирования исчезает вблизи разломов, выраженных линейментами, что объясняется наличием насыщенных водой зон трещиноватости.

В ряде случаев наличие зон мезотрещиноватости по разрезу осадочного чехла подтверждается материалами глубокого бурения. Анализ данных по поглощению промывочной жидкости в глубоких скважинах Равнинного Крыма, Днепровско-Донецкой впадины, Средней Азии, в Тимано-Печорском регионе показал, что зоны повышенной трещиноватости, установленные на поверхности, проявляются до глубины 3—4 км.

Хотя во многих случаях зоны мезотрещиноватости не удается отождествить с известными разломами, не менее многочисленны факты, когда сопоставление результатов дешифрирования с данными геофизических исследований, переинтерпретации геофизических материалов, а также результаты целенаправленных исследований позволяют установить приуроченность этих зон к разломам разной амплитуды по поверхности фундамента, а часто и в нижних горизонтах осадочного чехла. Нередко на МДС наблюдаются зоны трещиноватости на продолжении известных разломов (опережающая трещиноватость). Следует заметить, что соответствующие зонам мезотрещиноватости разломы отнюдь не всегда являются раздвигами — они относятся к раз-

личным кинематическим типам, среди которых значительная роль принадлежит сдвигам. Конкретное соотношение зон мезотрещиноватости с разломами может быть различным. Вероятно, в большинстве случаев упорядоченные зоны мезотрещиноватости отражают полосы разрядки напряжений над разломами.

Возможны три модели образования полос разрядки над разломами:

модель рассеивания напряжений за счет включения в зону рассеивания значительного объема породы;

модель затухания напряжений — три последовательные вертикальные зоны: нижняя — зона наращивания амплитуды вниз по разрезу, средняя — зона малоамплитудных нарушений и верхняя — зона мезотрещиноватости;

модель «поглощения» напряжений при переходе в среду с другими физико-механическими свойствами (из хрупких пластов в относительно вязкие или сыпучие).

По морфологическому облику зоны мезотрещиноватости с определенной мерой условности могут быть подразделены на: сосредоточенные, упорядоченно рассеянные и разветвленные. Эта общая типизация характеризует не только разновидности зон в плане, т. е. проекции на дневную поверхность, но должна быть справедлива и для морфологической типизации этих зон в разрезе осадочных пород.

Зоны мезотрещиноватости сосредоточенного типа выражены весьма сближенными составляющими линеаменами, которые в масштабе КС дешифрируются графически с трудом из-за малого пространства между ними. Практически такие зоны картируются по ограничивающим линеаменам, а заключенная между ними пластина раздробленных пород обозначается условно.

Зоны мезотрещиноватости упорядоченно рассеянного типа на КС представлены редкой сетью линеаментов, но обязательно одного выдержанного простирания; это наиболее распространенный тип.

Характерная особенность зон мезотрещиноватости разветвленного типа — наличие единого центра или линии, от которой отходят оперяющие линеаменты. В большинстве случаев четкий центр разветвления на КС установить трудно, но общий веерообразный (радиальный) плановый рисунок сопряженных линеаментов свидетельствует об их взаимозависимости и соподчиненности.

При наложениях различных зон мезотрещиноватости образуются более сложные морфологические типы. Необходимо отметить одну важную особенность, характерную для любого морфологического типа подобных зон, — это увеличение коэффициента трещиноватости пород на их рассеянных окончаниях и при пересечении этих зон разных направлений. В таких условиях чаще и образуются протяженные фильтрационные системы, обеспечивающие субвертикальную разгрузку флюидов.

При сейсморазведочных работах зоны мезотрещиноватости характеризуются как зоны разуплотнения пород и ухудшения качества сейсмической записи, в пределах которых и по данным бурения не устанавливается заметных вертикальных смещений.

Практическое значение зон мезотрещиноватости для решения конкретных нефтегазогеологических задач состоит в том, что зоны линеаментов отражают на поверхности зоны повышенной трещиноватости (зоны дробления и разуплотнения) с улучшенными коллекторскими (флюидопроводящими) свойствами на уровне продуктивных пластов-коллекторов. На возможность предсказания наличия на глубине вероятных зон развития трещинных коллекторов по аномалиям густоты трещиноватости на поверхности указывал Е. М. Смехов (1965 г.).

Анализ влияния трещиноватости вообще и мезотрещиноватости в частности на миграцию и аккумуляцию углеводородов — актуальная проблема, изучение которой раскрывает новые аспекты в оценке процессов, составляющих онтогенез углеводородов. В изучении зон трещиноватости нефтегазоносных территорий явно преобладает качественный подход — большинство из в общем-то немногочисленных работ носит описательный, фиксирующий характер. Основной же задачей, отвечающей современным требованиям геологии, является переход к получению количественных показателей на базе выявления и изучения зон мезотрещиноватости на месторождениях нефти и газа в различных геотектонических областях и установления закономерностей их морфологической, пространственной и временной группировки. Поэтому одна из главных задач дешифрирования КС, имеющая целью картирование зон мезотрещиноватости, — выделение только достоверных элементарных линий, неоднократная отбраковка по элементам совокупностей, повторное дешифрирование, совещательное дешифрирование и т. д., т. е. применение способов, позволяющих отфильтровывать случайные элементы.

Совершенно неприемлемым следует признать способ выделения всех кажущихся линейных элементов и проведение по этому «облаку линий» геологических построений. Заманчивость такого тотального подхода к дешифрированию линеаментной сети предопределена заложенной в нем возможностью построения любой модели строения территории, устраивающей интерпретатора. По нашему мнению, в основу безжалостной отбраковки линеаментов должны быть положены морфогенетические критерии. Поскольку зоны мезотрещиноватости отображают результат действия тектонических напряжений определенного знака и направленности, достоверными линеаментами могут и должны считаться только те, которые не единичны и группируются в системы одного простиранья — достоверность достигается эффектом множественности.

III.4. ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН МЕЗОТРЕЩИНОВАТОСТИ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ И ИХ ИЗУЧЕНИЕ НА УРОВНЕ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

Практическое отраслевое значение линеamentного дешифрирования КС состоит в том, что оно, по существу, единственный способ площадного трассирования зон трещиноватости, по крайней мере для геологически закрытых платформенных нефтегазоносных территорий. Этот метод позволяет выявить составляющие элементы зон мезотрещиноватости, установить их азимутальную упорядоченность, степень концентрации, протяженность, группируемость, т. е. оперативно и достаточно однозначно получить такую информацию, которую не могут дать другие методы. Точечные (бурение) и профильные (сейсморазведка) геолого-геофизические исследования могут лишь в той или иной мере подтверждать (или выявлять на отдельных локальных участках) зоны трещиноватости, но прогнозирование и трассирование их доступно только дистанционным исследованиям. Именно в этом состоит значение выделения зон мезотрещиноватости на КС как принципиально нового и незаменимого метода выявления зон трещиноватости. Однако с этим же связаны и значительные трудности подтверждения этих зон на глубине.

Трудности подтверждения зон мезотрещиноватости на глубине определяются как возможным несоответствием положения зоны трещиноватости на уровне продуктивного пласта зоне линеamentов на КС (на земной поверхности) при наклоне зоны трещиноватости или ее изломе в переслаивающемся разрезе, так и трудностью распознавания участков повышенной трещиноватости на глубине геолого-геофизическими методами.

Важнейший источник информации при проецировании зон мезотрещиноватости на уровень продуктивного пласта — сейсморазведка и особенно ее новое, развивающееся направление — сейсмоstrатиграфия.

Сопоставление положения зон мезотрещиноватости с данными сейсмо- и электроразведки в ряде случаев позволяет определить падение и простираие трещин на глубине данной зоны. При вскрытии скважинами, особенно в карбонатных породах, зоны трещиноватости характеризуются рядом диагностических признаков: провалы инструмента, катастрофическое поглощение раствора, незначительный выход керна, скачкообразное ускорение проходки, эллипсоидальность стволов скважин и т. д. Важную информацию дает лабораторное исследование керна. На эксплуатируемых месторождениях зоны трещиноватости и некоторые их характеристики могут быть изучены по промыслово-эксплуатационным данным.

В связи с вышеизложенным возможны различные пути выявления и изучения зон трещиноватости — прослеживание про-

должения известного по геолого-геофизическим данным разлома в виде линеамента на среднемасштабных КС с последующим выявлением зоны мезотрещиноватости (зоны «опережающей» трещиноватости) на крупномасштабных КС. Возможен и перспективен и другой подход — выявление участков и зон повышенной трещиноватости по геофизическим (гравитационные ступени, данные магнитной съемки, сейсморазведки) и промысловым (зоны обводнения скважин и др.) данным с последующим выделением зон мезотрещиноватости по крупномасштабным КС. Наиболее перспективно выявление зон трещиноватости на КС и последующая их проверка как по уже имеющимся геолого-геофизическим материалам, так и специально рекомендованными целенаправленными исследованиями. Во всех случаях необходимо максимальное комплексное использование геолого-геофизических данных с целью правильного выбора основного метода подтверждения зоны трещиноватости на глубине.

Реальным путем опознания зон трещиноватости и малоамплитудных разломов следует считать комплексирование дистанционного метода с сейсмостратиграфическими исследованиями. К настоящему времени накоплен достаточный опыт и сложились необходимые предпосылки для использования сейсмостратиграфического анализа не только на поисковом этапе, но и на этапах разведки и разработки месторождений углеводородов. В случае выделения и исследования изменчивости отражений от продуктивного пласта появляется возможность определить его параметры, в том числе часто — трещинные и высокопористые пласты и зоны в высокоскоростных карбонатных отложениях. Но и при отсутствии отражений от продуктивных пластов сейсмостратиграфия на основе корреляции между дислокациями продуктивных пластов и ближайших сейсмических реперов способна решать задачи детализации структурных особенностей месторождения. Это позволяет установить участки флексуобразных перегибов, возможных малоамплитудных разломов, т. е. приблизиться к «дизъюнктивному» варианту построения структурной карты месторождения, рассмотренному Н. Я. Куниным и Е. В. Кучеруком.

Использование данных дешифрирования КС — выделенных линементов и зон мезотрещиноватости — позволит целенаправленно планировать и анализировать данные сейсмостратиграфического профилирования для определения малоамплитудных разрывов, определяющих блоковое строение месторождений, зон трещиноватости и разуплотнений. Наличие зон повышенной трещиноватости пород — это важный и пока еще недостаточно оцененный фактор при изучении миграции, аккумуляции и перераспределения углеводородов. Исследование зон трещиноватости для решения конкретных задач на различных этапах нефтегазогеологических работ требует не только трассирования и подтверждения этих зон на глубине, но и обоснованного про-

гнозирования их свойств и возможного влияния на формирование залежей и поведение флюидов в процессе разработки.

В последние годы во многих работах по описанию и анализу линеаментов разного ранга указывается на то, что в зонах их развития улучшаются коллекторские свойства пород. Доказательства таких общих утверждений, как правило, не приводятся. Следует отметить, что в зонах мезотрещиноватости улучшаются не столько емкостные, сколько фильтрационные свойства пород. Свойства зон мезотрещиноватости на уровне продуктивного пласта, их влияние на коллекторские свойства пласта и на возможный характер их отражения на КС требуют тщательного изучения.

Изучение зон мезотрещиноватости конкретных месторождений опосредованно через керны пластов встречает иногда ряд непреодолимых трудностей, обусловленных как малым выходом керна разведочных скважин и его практическим отсутствием при эксплуатационном бурении, так и условиями разбуривания. Обычно априори считают, что между выходом керна и трещиноватостью пород пласта существует обратная зависимость — чем больше плотность элементарных трещин на уровне целевого пласта, тем меньше выход из него керна. Этот постулат можно использовать при опознании мезотрещиноватости в разрезе по комплексу опосредованных признаков, в том числе увеличению скорости проходки, катастрофическим поглощениям, искривлению стволов скважин и т. д.

Кроме опосредованных индикаторов трещиноватости на уровне продуктивного пласта возможны, хотя практически и редки, визуальные наблюдения трещин в керне из этих интервалов. При этом все же следует учитывать, что зоны трещиноватых пород продуктивного пласта отличаются от остальной части пласта-коллектора неравномерным распределением в пространстве основных параметров, что связано с неоднородностью и анизотропностью физико-механических свойств и вариациями тектонических напряжений во времени. Пласты вдоль трещин, субперпендикулярных напластованию, более ослаблены и подвергаются разрушению различными природными процессами. Подземное выщелачивание и в целом денудация происходят более активно вдоль таких систем трещин.

Решение конкретных нефтегазогеологических задач на основе дешифрирования зон мезотрещиноватости и на КС требует привлечения всех доступных геолого-геофизических данных о возможном строении этих зон на глубине — материалов по структуре, тектонодинамике, литологии, нефтегазоносности, гидрогеологии, характеру изменения основных параметров изучаемого объекта в пространстве и их динамики во времени.

Следует подчеркнуть, что трещиноватость пород-коллекторов определяет в основном не их емкостные свойства, а наличие связей в поровом пространстве, что во многих случаях уве-

личивает фильтрационные свойства коллектора, обеспечивающие нефтегазоотдачу продуктивных пластов. По данным многих исследователей, обусловленная трещинами емкость не превышает десятых долей процента и не играет существенной роли в суммарном объеме пустот трещинно-поровых коллекторов. Значение трещиноватости в фильтрации пластовых флюидов наиболее отчетливо проявляется в тонкопоровых карбонатных коллекторах (например, Астраханского газоконденсатного месторождения), в которых основной объем газа содержится в матрице пород, а притоки газа к скважинам обеспечиваются преимущественно разветвленными системами трещин.

Зоны мезотрещиноватости на глубине часто представлены системами трещин скола. По Р. С. Копыстьянскому [23], последние на уровне продуктивного пласта редко бывают заполненными минеральным веществом. Для сколовых деформаций характерны: прямолинейность и сосредоточенный характер развития трещин, четкость контактов с породой, гладкая поверхность сколов. Возобновление движений по зонам мезотрещиноватости, а особенно при изменении поля напряжений, вызывает возникновение косых, иногда перпендикулярных систем трещин скола. Разнопериодная повторяемость активизации зон мезотрещиноватости обуславливает появление и X-образных систем. Амплитуды смещения по единичным трещинам скола различны — от практически незаметных до амплитуд в единицы и десятки сантиметров. Зеркала скольжения, сопровождающие пластовые сколы, свидетельствуют о смещениях в условиях сжатия. По простиранию зон мезотрещиноватости сколы, сливаясь, могут переходить в мезоразрывы с амплитудой смещения до первых метров. Под мезоразрывами нами понимаются такие разрывы общей группы, которые обладают заметным (метры) смещением, но амплитуда которых не выходит за пределы величины мощности пласта-коллектора, т. е. не приводят к гидродинамическому разобщению пластов.

Зоны мезотрещиноватости, дешифрируемые на КС по морфологии в плане и другим свойствам, определяются как зоны тектонодинамической дезинтеграции горных пород. В целом их можно охарактеризовать как линейные (в случае их пересечения системами иного простирания — линейно-очаговые) зоны разуплотнения, в ареалах которых повышенная флюидопроводимость пород обеспечивается разветвленной системой «тектонических каналов» разного масштаба (и морфологии) — от типичных дизъюнктивов до микротрещин. При этом определяющую роль играют тектонические трещины, возникающие в результате импульсной разрядки новейших (современных) тектонических напряжений. Генетические особенности зон мезотрещиноватости — их тектоническая природа и новейший (вплоть до современного) возраст — определяют некоторые их важные особенности, влияющие как на проводящие свойства продуктивного пласта, так и на характер проявления этих зон на КС.

Флюидальная система в зонах повышенной трещиноватости может характеризоваться:

в ряде случаев локализованным повышением емкостных свойств и удельной нефте- и газонасыщенности;

существенным увеличением фильтрационных свойств и нефтегазоотдачи;

существенным увеличением доли газа в проницаемых микротрещинах;

формированием преимущественных направлений латеральной и вертикальной миграции углеводородов (флюидоводов).

Тектонодинамическая природа зон мезотрещиноватости определяет их важнейшее свойство — линейную организованность трещин в горных породах. По Е. М. Смехову, тектонические трещины группируются в определенно ориентированные системы, обуславливая анизотропию трещинного коллектора с закономерно ориентированными некоторыми его параметрами, прежде всего флюидопроводимостью. Анизотропность строения коллектора подтверждается многочисленными геолого-промысловыми данными, например интерференцией скважин, когда скважины, отстоящие друг от друга на сотни метров, гидродинамически связаны, а расположенные близко — независимо друг от друга. Анизотропия трещиноватых горных пород в отношении их упругих свойств устанавливается совпадением максимумов роз-диаграмм трещиноватости и граничных скоростей упругих волн. Системность ориентировок тектонодинамической трещиноватости пород коллектора в зоне мезотрещиноватости требует особого подхода к решению фильтрационных задач, так как процессы фильтрации в таких случаях во многом определяет структура трещинного пространства. Очевидно, что эта закономерная ориентированность новейших трещин и анизотропия коллектора могут проявляться и проявляются на КС в виде линейно организованных зон линеаментов.

Важнейший параметр трещиноватости пород-коллекторов — степень раскрытия микротрещин, которая, по данным Е. М. Смехова, колеблется от 5 до 100 мкм, а в большинстве случаев составляет 10—25 мкм.

Трещинная проницаемость пропорциональна кубу раскрытости трещин и лишь первой степени густоты трещин. По-видимому, именно наличие открытых трещин и закономерности их распространения и ориентировки формируют флюидопроводящую анизотропию трещинного коллектора. Раскрытость трещин резко возрастает в зонах растяжения, где возникают трещины отрыва или происходит раскрытие старых трещин. Наличие новейших (современных) зон растяжения (и сжатия) определяется тектонодинамическим полем новейшей напряженности земной коры, находящей отражение в сети линеаментной трещиноватости, дешифрируемой на КС, в морфологии зон линеаментов. Наиболее благоприятной для флюидопроводимости

является обстановка новейших раздвигов, отрывов, сбросов, наименее благоприятна обстановка взбросов, надвигов. В обстановках сдвигов, где преобладают трещины скола, связанные с касательными напряжениями, вероятно, неблагоприятна узкая присдвиговая полоса и более благоприятны удаленные от плоскости сдвига зоны резонансной трещиноватости.

Возможны различные пути прогнозирования зон наибольшей открытости трещин. А. И. Тимурзиевым (1985 г.) использован анализ рисунка регматической (сколовой) сети линеаментов с целью определения особенностей поля новейших напряжений земной коры, расположения и ориентировки зон растяжения. Другой путь — анализ плановой морфологии поверхностных совокупностей линеаментов, соответствующих зонам мезотрещиноватости в земной коре. Наиболее распространены проекции — простая линейная и многоэлементно-субпараллельная линейная, при которой главный линеамент сопровождается соподчиненными резонансными элементами. Иное поверхностное выражение имеют зоны мезотрещиноватости, в формировании которых заметную роль играли тангенциальные напряжения, — они представлены многочисленными линеаментами, группирующимися в косопараллельные, кулисные, несогласные, виргирующие, дискордантно-ступенчатые, пилообразные и другие системы.

Следует отметить, что на КС разного уровня генерализации зоны мезотрещиноватости сдвигового типа часто характеризуются закономерной конформностью на значительных пространствах, т. е. соблюдаются морфологическое подобие в ориентировке при разных масштабах. Поэтому установленные хотя бы на одном месторождении закономерности проявления зон разуплотнения в строении продуктивной толщи могут с достаточной степенью обоснованности приниматься и для других месторождений (складок) данной области новейших напряжений. Такое подобие характерно, например, для Шады-Денгизкуль-Уртабулакской зоны газонакопления в Узбекистане.

Необходимо подчеркнуть, что только дистанционные материалы целостно и объективно фиксируют морфологию запечатленных в поверхностных горизонтах элементов новейшего напряженного состояния пластов.

Определение истинной ширины зоны мезотрещиноватости по МДС, особенно для закрытых нефтегазоносных территорий, затруднено и чревато существенными ошибками. На КС линеамент дешифрируется, как правило, по сумме косвенных индикаторов гидрографической сети, растительности и т. д. Поэтому на КС по ширине линеамента видна зона его влияния на эти индикаторы, которая может во много раз превышать и превышает истинную ширину зоны трещиноватости в литифицированных породах верхнего этажа осадочных пород, перекрытых рыхлым чехлом современных отложений. Можно считать установленным, что, чем больше толщина рыхлых покровных отло-

жений, тем менее достоверно определяются пределы ширины зоны мезотрещин.

При этом необходимо учитывать, что фактически любая элементарная мезотрещина, дешифрируемая на КС в виде одной линии, фактически образована множеством существенно более мелких трещин, упорядоченных по простиранию, совокупность которых и образует на КС единый след. Это объединение серии мелких трещин в единую линию обусловлено эффектом естественной генерализации частных совокупностей при запечатленном наблюдении с большого расстояния. Справедливость указанной особенности использования КС подтверждается при изучении геологически открытых территорий, где на поверхности непосредственно видна зафиксированная в литифицированных породах морфология зоны мезотрещиноватости.

Важнейшее значение для формирования трещиноватости горных пород имеет их литологический состав. Хотя по этому вопросу существует обширная литература, далеко не все особенности влияния литологического фактора на трещиноватость пород, коллекторские свойства продуктивного пласта и экранирующие свойства покрышек достаточно изучены. Необходимо заметить, что различные примеси и структурно-текстурные особенности пород, особенно карбонатных, оказывают весьма существенное влияние на их способность к трещинообразованию. Так, согласно Д. Гаррису и Г. Тейлору, наиболее трещиноватыми бывают известняки и доломиты, затем песчаники и, наконец, глины. Ю. К. Бурлин приводит следующий ряд пород в порядке убывания трещиноватости: известняки — доломиты — аргиллиты — песчаники и алевролиты — ангидриты — каменная соль. Эти оценки отражают уже давно утвердившееся и до сих пор бытующее среди геологов-нефтяников представление о том, что наиболее трещиноватыми являются карбонатные породы. На наш взгляд, это связано в первую очередь с тем, что именно в карбонатных породах трещиноватость вызывает существенные изменения структуры порового пространства. Напротив, в песчаниках, например, обладающих высокой открытой пористостью, наложенные системы трещинных каналов практически не улучшают коллекторские свойства.

По данным Е. М. Смехова, густота трещин увеличивается по мере возрастания глинистости горных пород в следующей последовательности: известняки — мергели — глины. По наблюдениям Р. С. Копыстянского, в Карпатах наиболее трещиноватыми являются аргиллиты, в которых частота сколовых трещин вдвое выше, чем в песчаниках. Выводы о более высоком уровне трещиноватости аргиллитов и сланцев подтверждаются результатами исследований Т. В. Дорофеевой (1986 г.), обобщившей данные по различным регионам СССР.

Характер проявления зон разуплотнения в литологически различных средах, породах, служащих коллекторами и пок-

рышками скоплений углеводородов, имеет принципиально важное значение для изучения формирования месторождений нефти и газа и прогнозирования условий массопереноса при их разработке. Несмотря на то, что зоны трещиноватости «секут» всю ассоциацию осадочных пород, благодаря чему они и проявляются на поверхности (и КС), их морфология может качественно видоизменяться при переходе от одной толщи (пачки) к другой. В породах, обладающих текучестью (глина, каменная соль), зарождающиеся микротрещины (особенно в условиях проявления горизонтальных напряжений) сразу же «гасятся» пластическим перераспределением материала. Поэтому, например, глинистые толщи даже при повышенной плотности мезотрещин часто не теряют флюидоупорных свойств. Наоборот, деформационная «память» компетентных горных пород коллекторов обеспечивает формирование в ареалах зон мезотрещиноватости сравнительно долгоживущих полос и очагов повышенной проницаемости [2].

Литологический фактор имеет важное значение для определения характера и механизма «передачи» трещиноватости от уровня продуктивного пласта на поверхность и для решения вопроса о строении зон мезотрещиноватости на уровне продуктивного горизонта. Положение и ширина зон разуплотнения на уровне продуктивного горизонта могут существенно отличаться от распределения их следов на поверхности. Такое несоответствие в плане может быть обусловлено наклоном зоны нарушения, различной кинематической разнообразностью зон трещиноватости, а также изменением угла наклона зоны деформации в литологически и петрографически различных толщах в зависимости от их физико-механических характеристик. При сопоставлении результатов дешифрирования КС Вуктыльского, Челекенского, Небитдагского, Шуртанского, Даулетабадского и ряда других месторождений с геолого-геофизическими материалами выделено несколько генетически различных типов зон мезотрещиноватости.

Чаще встречаются зоны мезотрещиноватости типа рассеивания, выраженные на глубине преимущественно единичными амплитудными разломами, которые вверх по разрезу переходят в серии малоамплитудных и (или) безамплитудных мезотрещин, дешифрируемых на КС. К этой же группе относятся и зоны мезотрещиноватости типа затухания, которые на КС представлены единичными линейными. По-видимому, и те и другие служат естественным продолжением разрывных нарушений, затухающих как вверх по разрезу, так и по простиранию. При явном преобладании в разрезе пластичных (соли, глины) и нецементированных (пески) пород в приповерхностных горизонтах возникают зоны мезотрещиноватости типа поглощения, ассоциирующие с флексурами [4]. Особенно пристального внимания требует изучение зон мезотрещиноватости в условиях сложно расслоенного разреза при чередовании коллекторских и

изолирующих толщ. При пересечении покрышек, особенно пластичных (глины, соли), трещины резко меняют угол наклона, что вообще характерно для дизъюнктивов, секущих ассоциации горных пород с различными физико-механическими свойствами.

IV. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ЗОН МЕЗОТРЕЩИНОВАТОСТИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ И ГАЗА

Накопленный опыт использования МДС в области геологии нефти и газа пока не может быть оценен однозначно и только положительно. С одной стороны, мы имеем примеры успешного решения конкретных задач путем целенаправленного комплексирования МДС с материалами традиционных геолого-геофизических исследований. В большинстве они относятся к региональному и поисковому этапам проведения геологоразведочных работ на нефть и газ. Значительно менее изучены и реже реализуются пути использования МДС при освоении конкретных месторождений углеводородов от момента их открытия и до этапа эксплуатации. И все еще недостаточно ясны физические основы проявления на МДС разнообразных нефтегазовых объектов на геологически закрытых территориях. Поэтому далеко не всегда мы имеем возможность оценить достоверность принятых решений.

Пути использования результатов дешифрирования КС для целей разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений однозначно не определены. Прежде всего это объясняется тем, что сложившиеся традиционные методы интерпретации материалов дистанционного зондирования (прямые — структурно-геологический, структурно-геоморфологический, ландшафтно-индикационный) недостаточно полно характеризуют поверхностные проявления индивидуальных черт конкретных месторождений. Кроме того, далеко не всегда ясно, как и какие дизъюнктивные, петрофизические и гидродинамические особенности пластовых систем нефтяных и газовых месторождений отражаются в приповерхностных горизонтах и каковы возможности дифференциации этих признаков по КС. Поэтому для решения поставленной задачи необходима разработка новых приемов анализа дистанционных материалов, использующих специфические свойства КС разных масштабов и видов. Первый опыт проведения исследований в этом направлении показал принципиальную возможность применения КС для детализации строения ряда газовых месторождений. Однако следует иметь в виду, что оценка достоверности целевого дешифрирования КС требует комплексирования получаемых результатов с материалами традиционных геолого-геофизических исследований

[18]. Вместе с тем в зависимости от особенностей строения конкретных месторождений (или их групп) и в первую очередь тех из них, которые реконструируются неоднозначно, но имеют важное значение для промышленного освоения, требования, предъявляемые к анализу результатов дешифрирования, должны (и могут) быть различными.

До настоящего времени анализ условий миграции углеводородов, пространственного размещения залежей и их формирования проводится без должного учета значения зон мезотрещиноватости, что в основном объясняется трудностью выявления и изучения их традиционными геолого-геофизическими методами.

Трассирование и определение по КС морфологии и плановых параметров зон мезотрещиноватости важно на поисковых этапах при прогнозировании скоплений углеводородов в зонах дробления, приуроченных к очаговым и линейно вытянутым зонам трещиноватости. А. И. Леворсен описал примеры таких месторождений в США (Сципио-Пьюласки-Албион и Дип-Ривер), представляющих собой узкие полосы залежей (длиной до 40 км при ширине до 1 км) и приуроченных к линейным зонам вторичного дробления и доломитизации среди непродуктивных известняков. В Мичиганском нефтегазоносном бассейне в результате инфракрасной съемки выявлена высокопродуктивная приразломная доломитизированная зона повышенной трещиноватости среди известняков; дополнительное дешифрирование обнаруживает там же аналогичные линеаменты того же протирания.

В районе нефтяного месторождения Патрик-Дро (США, шт. Вайоминг) установлено аномальное концентрирование легких углеводородов в зонах, интерпретируемых по КС как крупные разломы и трещины. На основе установленных закономерностей планируется проведение дальнейших поисково-разведочных работ в благоприятных для скопления углеводородов зонах. Зоны дробления, перспективные для поисков залежей нефти и газа, известны в различных регионах СССР (Западный Узбекистан, Днепровско-Донецкая впадина, Предкавказье).

Важное направление использования результатов дешифрирования линеаментов на МДС — прогнозирование блокового строения перспективных структур с целью поисков тектонически экранированных залежей углеводородов.

В работе Н. В. Колодия и В. И. Хныкина (1982 г.) предложена комплексная методика выявления на глубине тектонических экранов (сбросо-сдвигов) для залежей углеводородов на основе дешифрирования КС. В геологически открытой Карпатской области хорошо прослеживаются короткие поперечные линеаменты, отражающие поперечные сбросо-сдвиги, делящие флишевые складки на блоки и являющиеся тектоническими экранами для залежей углеводородов. Их поиски представляют серьезные трудности для сейсморазведки, в частности из-за небольших амплитуд, и они, как правило, устанавливаются по резуль-

татам испытания объектов. Проецирование разрывов с поверхности на уровень продуктивных горизонтов сильно осложняется большими углами наклона сбрасывателя. Названные авторы предлагают следующую поэтапную методику выявления тектонических экранов на глубине:

этап I — выделение поперечных линеаментов на КС и их детализация на АФС;

этап II — подтверждение разрыва и определение опущенного блока по данным геологического картирования или профильного бурения картировочных скважин;

этап III — бурение двух-трех картировочных скважин в опущенном блоке до пересечения со сбросами для определения положения плоскости наклона сброса и предположительного пересечения его с продуктивным комплексом и в результате — выдача рекомендаций на заложение поисковой скважины во вновь выделенном неразведанном блоке складки или разведочной скважины в пределах поискового блока, продуктивность которого доказана, но положение экранирующего сбросо-сдвига не определено.

На Керченском полуострове отдешифрирована на КС система линеаментов, секущих локальные складки, проходящих через грязевые вулканы и прерывисто прослеживающихся на большие расстояния [47]. Некоторые из этих линеаментов известны по данным сейсморазведки как малоамплитудные разрывы, но большая их часть не подтверждается, так как выходит за пределы разрешающей способности сейсморазведки. Однако даже при небольших амплитудах (десятки метров) разрывы в майкопских отложениях могут служить экранами для углеводородов. Практически доказано, что на части рассматриваемой территории сводовые части локальных складок лишены коллекторов, а скопления углеводородов сосредоточены в отдельных экранированных блоках-резервуарах — самостоятельных объектах поисков. На Фонтановской структуре (рис. 16), по данным сейсморазведки и бурения, восточная периклиналь осложнена разрывным нарушением, которое служит экраном, ограничивающим залежь углеводородов с запада. Нарушение выделяется и на КС. На западной периклинали структуры также прослеживаются секущие складку линеаменты, не зафиксированные сейсморазведкой. В. И. Хныкин и Н. В. Колодий считают целесообразным в данном районе начинать поиски залежей с периклинальных частей складок, если они изолированы от структуры дешифрируемыми секущими линеаментами даже в тех случаях, когда сейсморазведка не отмечает нарушений.

Характерным и в целом редким примером визуально изученной зоны трещиноватости в пласте является Бориславское нефтяное месторождение в Закарпатье. Здесь еще с прошлого века шахтным способом добывали озокерит из жил в соленосной формации. Многочисленные горные выработки позволяют

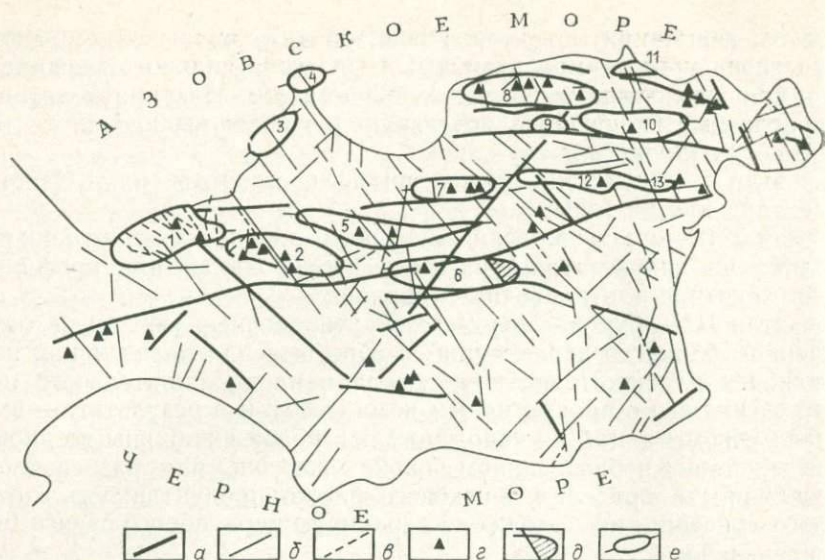


Рис. 16. Схема дешифрирования материалов дистанционных съемок Керченского полуострова [47] (с изменениями).

Линеаменты, выделенные: а — на космических телевизионных снимках, б — на космических фотоснимках, в — на аэрофотоснимках; г — грязевые вулканы; д — газоконденсатная залежь в нижнемайкопских отложениях; е — антиклинальные складки: 1 — Каменская, 2 — Королевская, 3 — Белокаменная, 4 — Мысовая, 5 — Слюсаревская, 6 — Фонтановская, 7 — Новоиколаевская, 8 — Караларская, 9 — Бурашская, 10 — Малобабчинская, 11 — Булганакская, 12 — Чистопольская, 13 — Восходовская

однозначно проследить морфологию мезотрещин в соленосной толще, поскольку они трассируются озокеритом. Расстояние между единичными трещинами в зоне не превышает 100 м, а при сосредоточенном типе трещиноватости — 6—8 м¹. В озокеритовых шахтах этого месторождения с трещинами (разрывами) связаны жилы озокерита, следы миграции нефти в виде гнезд, заполненных нефтью [23].

Явление расформирования и переформирования скоплений углеводородов вследствие миграции нефти и газа по дизъюнктивам, особенно в эпохи тектонической активности, широко распространено. Однако трудность его диагностики обуславливает кажущаяся малочисленность достоверных примеров, характеризующих былую вертикальную миграцию.

В Амударьинской синеклизе, например, следы разрушения скоплений углеводородов установлены на сильно нарушенном дизъюнктивами Султансанджарском вале. Существование вертикальной миграции в прошлом подтверждается случаями искусственно вызванного (аварийного) перемещения газа к поверхности по ослабленным зонам на ряде месторождений (Уртабулак, Памук, Шебелинское и др.).

¹ Зоны трещиноватости сосредоточенного типа такой небольшой ширины на среднемасштабных КС отображаются в виде одной линии.

О широком распространении явлений вертикальной миграции свидетельствуют также условия формирования многопластовых месторождений, для которых нельзя допустить сингенетичность газа или нефти вмещающим отложениям. Примеры таких месторождений на Скифской, Туранской, Западно-Сибирской плитах и в других районах приводятся в работах Г. И. Амурского, Ф. Г. Гуарри, Н. А. Крылова, В. Д. Наливкина, Г. П. Сверчкова и др.

На этапе разведки и проектирования разработки месторождений нефти и газа, а также при их эксплуатации изучение зон мезотрециноватости по КС может быть полезным для решения различных задач, некоторые из них уже апробированы и рассмотрены ниже. Подавляющее большинство месторождений нефти и газа располагается в пределах равнинных, геологически закрытых территорий платформ и передовых прогибов. Представления о строении месторождений базируются преимущественно на данных сейсморазведочных и буровых работ, которые не могут дать информацию, достаточную для пространственного описания зон тектонодинамического разуплотнения продуктивных пород, тем более что интервалы разуплотнения, как правило, почти не охарактеризованы керном. Трассирование таких зон на разномасштабных КС позволяет прогнозировать характер фильтрационной неоднородности нефтегазо- и водоносных горизонтов и зависящей от нее древней или современной гидравлической сообщаемости разновозрастных комплексов.

Одним из важнейших направлений следует считать построение «дизъюнктивного варианта» структурной карты антиклинальной ловушки на уровне продуктивного пласта на основе комплексной интерпретации анализа линеаментов, выделенных на КС, и материалов глубокого бурения. Такие карты позволяют определить наиболее рациональное размещение глубоких разведочных и эксплуатационных скважин и существенно уточнить проект эксплуатации месторождения.

При дешифрировании КС Окаремского нефтегазового месторождения в Западной Туркмении выявлено большое количество линеаментов, группирующихся в две генеральные системы, — меридиональную и северо-западную. Часть из них, к которым тяготеют грязевулканические аппараты, без сомнения соответствуют глубинным разломам, а другие — малоамплитудным разломам, не нашедшим отражения на сейсмических профилях. При подсчете запасов в проекте разработки была принята пликвативная модель строения Окаремской складки, но в процессе разработки обнаружилось разновысотное положение газонефтяного (ГНК) и водонефтяного (ВНК) контактов в одних и тех же пластах на западном и восточном крыльях, не находящее объяснения при варианте «пликвативного» строения структуры. Сопоставление материалов дешифрирования с комплексом геолого-геофизических данных показало, что такое положение

ГНК и ВНК возможно при наличии тектонического нарушения. Очевидно, установленный на КС субмеридиональный линеймент, пересекающий складку по длинной оси, является нарушением типа сброса, осуществляющего функцию экрана между продуктивными пластами в разных блоках, чем и вызвано разновысотное положение ГНК и ВНК [6].

Описанные структурные построения были выполнены уже на этапе эксплуатации месторождения, хотя такого рода работы должны проводиться на этапе разведки, причем их целесообразно комплексировать с сейсмостратиграфическими исследованиями.

Перспективно использование результатов детального дешифрирования КС на этапе проектирования, освоения и разработки нефтяных и газоконденсатных месторождений. Накопленный опыт разработки нефтяных месторождений показывает, что при прочих равных условиях максимальная нефтеотдача достигается при упруговодонапорном режиме. На месторождениях с низкой энергией краевых вод такой режим создают искусственным заводнением эксплуатируемых пластов. Однако на практике при этом иногда не только не достигается ожидаемый, но и возникает даже отрицательный эффект. Для повышения конденсатоотдачи на газоконденсатных месторождениях все более широко применяют закачку в пласт газа (метана, углекислоты в различных сочетаниях с гомологами метана и др.). Эти мероприятия также не всегда сопровождаются в полной мере ожидаемыми результатами, в частности потому, что процесс нагнетания этих агентов в пласт нередко становится неуправляемым.

Одной из главных причин низкой эффективности вторичного воздействия на пласт при разработке нефтяных и газоконденсатных месторождений может быть резкая анизотропия коллекторских свойств (и в первую очередь их фильтрационной составляющей), обусловленная наличием трещиноватости. Поэтому применение результатов дешифрирования КС при моделировании пористо-проницаемых сред эксплуатируемых объектов имеет важное значение для оценки условий массопереноса.

Таким образом, получаемая дополнительная информация может быть использована для прогнозирования наиболее вероятных очагов «преждевременного» избирательного обводнения залежей нефти и газа при активном водонапорном режиме, для регулирования процесса законтурного и внутриконтурного заводнения нефтяных залежей, для оценки наиболее эффективных условий закачки в пласт газа с целью повышения конденсатоотдачи. Кроме того, результаты дешифрирования КС полезны, а иногда и необходимы при выборе, создании и эксплуатации подземных хранилищ газа.

Немногочисленные пока примеры исследований в указанных направлениях дают обнадеживающие результаты. Так, в западной части южного газового поля Даулетабад-Донмезского мес-

торожения по КС была выделена субмеридиональная зона мезотрещиноватости. Было высказано предположение, что этот участок предрасположен к обводнению. В действительности уже в первый год разработки в ряде скважин в ареале выделенной зоны повысился вынос хлора.

На Оренбургском газоконденсатном месторождении Г. П. Попсуй-Шапко и А. Н. Тимофеев (в 1983 г.) для выявления механизма внедрения пластовых вод в газовую залежь использовали комплексный анализ материалов геолого-геофизических исследований, и в том числе результаты дешифрирования КС и геоморфологических исследований (интенсивность эрозийного расчленения поверхности). Ими намечена ортогональная сетка тектонических нарушений, которые, по их мнению, вместе с развивающимися вокруг них зонами оперяющей трещиноватости контролируют зарождение и развитие очагов поступления подошвенных вод в газовую залежь. Местоположение выявленных очагов обводнения контролируется узлами пересечения линеаментов.

И. М. Жуков в 1984 г. по результатам линеаментного анализа КС предположил возможность членения продуктивной толщи Оренбургского месторождения на ряд блоков. В подтверждение этого он приводит материалы, свидетельствующие, по его мнению, о гидравлической неоднородности эксплуатационного объекта и ряд других факторов.

И. Н. Капустин и С. Е. Петров в 1984 г. сделали попытку дать прогноз зон повышенной трещиноватости в продуктивных верхнепалеозойских карбонатных отложениях на этапе разведки Астраханского месторождения. Исследования проводились путем комплексной интерпретации материалов дешифрирования разномасштабных и разносезонных КС (анализ размещения «мелких» линеаментов), сейсморазведки (анализ распределения скоростей продольных колебаний), электроразведки (анализ продольной проводимости пород) и глубокого бурения. По их данным выделены и протрассированы субмеридиональные зоны повышенной трещиноватости и дробления, протягивающиеся через Астраханское месторождение и далее к югу и пересекающие ряд других поднятий. По немногочисленным данным бурения в пределах зон повышенной трещиноватости наблюдается значительное улучшение коллекторских свойств верхнепалеозойских карбонатных отложений, особенно фильтрационных (увеличение проницаемости коллекторов от десятитысячных и тысячных долей квадратного микрометра до 0,1—0,6 и даже 2 мкм²).

Анализ тектодинамической мезотрещиноватости на КС можно рассматривать как актуальный метод изучения нефтяных и газовых месторождений. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что достоверные и положительные результаты могут быть получены только при его комплексировании с материалами традиционных геолого-геофизических исследований.

IV.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ЗОН МЕЗОТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ КОНКРЕТНЫХ ЗАДАЧ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ

IV.1.1. Даулетабад-Донмеское газоконденсатное месторождение

Одним из наиболее интересных для целевого дешифрирования из числа изучавшихся объектов оказалось Даулетабад-Донмеское газоконденсатное месторождение. Крупнейшее в Средней Азии, оно, кроме того, настолько специфично по условиям нахождения залежей и составу газа, что не имеет аналогов в мировой практике. Промышленно газоносны на месторождении песчаники шатлыкского промыслового горизонта готеривского яруса. Горизонт представлен двумя пачками песчаников — IV (основной) и V (нижней), которые местами образуют единый пласт.

Первый промышленный приток газа был получен в 1974 г., а в 1983 г. месторождение было введено в разработку. Вместе с тем многие важные для разработки особенности строения месторождения остаются до сих пор недостаточно изученными. Прежде всего это касается типа ловушки, определяющего условия локализации газа в разрезе надсолевых неокомских отложений. Достаточно сказать, что уже обсуждалось не менее десяти различных вариантов ее возможного строения. Ни один из них пока не получил преимущественно признанного обоснования либо из-за отрицания новыми фактами, либо из-за недостаточно надежной или однозначно интерпретируемой геолого-геофизической информации, либо из-за создания моделей, не отвечающих уже сложившимся представлениям о строении газовых месторождений. На наш взгляд, решение этого вопроса следует искать именно на последнем нетрадиционном пути. Перспективность такого подхода определяется возможностью объяснения и других аномальных черт пластовой системы месторождения, рассмотренных в работах Г. И. Амурского и др. (1982, 1984 гг.), В. В. Семеновича и др. (1983 г.) и К. Н. Кравченко (1983 г.).

Очень кратко характеристика строения Даулетабад-Донмеского месторождения сводится к следующему. Огромная по площади (около 2500 км²) газовая залежь в шатлыкском горизонте мощностью от нескольких метров до 80 м заполняет обширный моноклиальный склон Бадхызского поднятия, сопряженный на юге с системой гемиянтиклинальных структур, погружающихся с востока на запад. При аномальном избыточном давлении, обеспеченном большой высотой залежи (более 1000 м), ее головная часть не имеет привычно стандартного для залежей неантиклинального типа ограничения: литологического, стратиграфического, тектонического. Во всяком случае ни одно из них пока не может быть аргументировано. В зоне

сопряжения гемивалов и моноклинали месторождение как бы разрезается водяным «клином» на две части: южную, меньшую, связанную с Даулетабадским гемивалом и имеющую наклонный ГВК, и северную, в 10 раз превышающую первую по площади, локализирующуюся в основном на моноклиналином склоне.

Наиболее важными особенностями северного поля газоносности являются:

непосредственное контактирование газа и пластовой воды по восстанию шатлыкского горизонта (т. е. залегание воды гипсометрически выше газа без видимого разделения их экранирующей поверхностью);

наличие внутри контура газоносности пластовой воды, залегающей в виде либо защемленных линз, либо глубоких заливов законтурных вод;

совместное нахождение в едином пласте бессернистого и сероводородсодержащего газа;

закономерное увеличение концентрации сероводорода (как и углекислоты) в направлении головной юго-восточной части пласта;

предельная газонасыщенность высоконапорных законтурных вод, окаймляющих сероводородсодержащую часть месторождения;

широкое распространение водорастворенного сероводорода, содержание которого также резко увеличивается вдоль юго-восточной периферии месторождения.

Эти и ряд других особенностей строения Даулетабад-Донмезского газоконденсатного месторождения подчеркивают необычность условий как его формирования, так и сохранности. Уже только по этой причине традиционные геолого-геофизические методы и приемы оказались недостаточно информативными для корректной оценки некоторых специфических черт месторождения. Эти ограничения требуют привлечения новых данных и видов анализа для решения спорных вопросов. К их числу относятся и дистанционные исследования из космоса.

С целью получения дополнительной информации о месторождении еще в 1977—1978 гг. Г. И. Амурским, Н. Н. Соловьевым, В. А. Кузьминовым было осуществлено дешифрирование КС его территории. На первом этапе дешифрирования было выделено несколько самостоятельных систем линеаментов. Одной из них, вытянутой вдоль зоны сочленения Донмезской моноклинали и гемивалов Бадхыза, на уровне продуктивного горизонта могла соответствовать зона мезотрещиноватости. По мнению авторов, она была ответственной за гидравлическую сообщаемость юрских и меловых отложений и определяет современное положение северной границы водяного клина. В дальнейшем по результатам бурения южную границу залежи моноклиналиного склона действительно стали проводить севернее первоначального принятого положения.

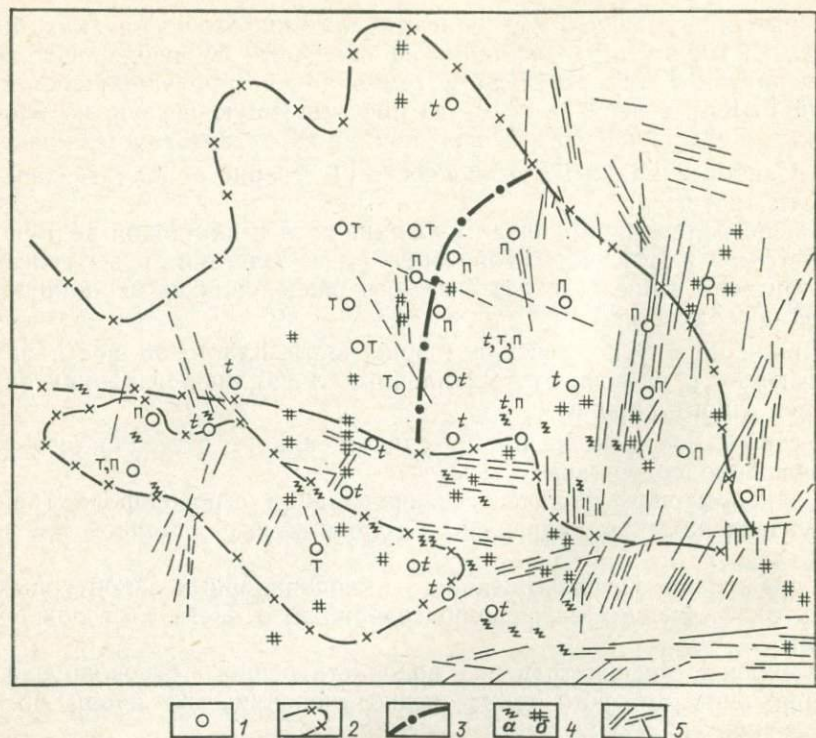


Рис. 17. Схема распределения линеаментов и показателей дизъюнктивной переработки неомкомских отложений Даулеттаб-Донмеского месторождения (составили Г. И. Амурский, Н. Н. Соловьев, 1985 г.).

1 — скважины (значок у скважины означает, что в ней установлены: *t* — повышенная (против фона) пластовая температура, *п* — пирит в породах продуктивного горизонта, *т* — трещиноватость в керне); 2 — внешний контур газоносности; 3 — западная граница распространения газа с объемной долей сероводорода более 0,001%; 4 — аномалии геофизических полей (по материалам НПО «Нефтегеофизика», Г. А. Габриэлянд, С. С. Чамо и др., 1984 г.), предположительно связанные с погребенными дизъюнктивами (*a*) и зонами повышенной трещиноватости пород (*b*); 5 — линеаменты (зоны мезотрещиноватости) по материалам дешифрирования КС

Дешифрирование КС сопредельных с месторождением районов Ирана по снимкам «Лэндсат» показало широкое распространение систем дизъюнктивов (и мезотрещиноватости) различных направлений и неизвестных ранее пликативных структур. В целом группировка частных элементов дешифрирования на площади Даулеттаб-Донмеского месторождения сохраняет черты, свойственные абрису структур (пликативных и дизъюнктивных) предгорий Восточного Копетдага. Позднее, когда выяснилось, что в некоторых разведочных скважинах установлено присутствие свободного сероводорода, было осуществлено повторное и более детальное дешифрирование КС. В юго-восточной части месторождения выделено несколько сопряженных систем линеаментов, как бы опоясывающих поле газоносности (рис. 17).

Дизъюнктивно-трещинная природа отдешифрованных систем линеаментов может быть подтверждена следующими установленными в процессе разведки данными:

в керне ряда скважин, пробуренных в южной тектонически наиболее активной части месторождения, установлены многочисленные трещины, выполненные битумом, вторичными минералами или открытые;

в ареалах выделенных на КС систем линеаментов (мезотрещиноватости) абсолютная производительность большинства разведочных скважин максимальна (от 3000 до 6500 тыс. м³/сут), тогда как за пределами этих ареалов она редко поднимается выше 2000 тыс. м³/сут;

во многих скважинах, пробуренных в ареалах отдешифрованных систем линеаментов, уровень пластовой температуры выше фоновых значений, характеризующих продуктивный горизонт;

в керне (и шлифах), отобранном из скважин в зонах предполагаемой дизъюнктивной перфорации пород, определена интенсивная вторичная пиритизация стенок пор и трещин.

Кроме того, обращают внимание результаты специальной обработки материалов сейсморазведки по отдельным профилям, пересекающим Даулетабад-Донмезское месторождение, осуществленной Г. А. Габриэлянцем, С. С. Чамо и др. в 1984 г. На многих из этих участков, совпадающих с выделенными по КС системами мезотрещиноватости, регистрировались отскоки по временам фаз волн, резкое ухудшение их коррелируемости, дифрагирование волн и др. Такие особенности структуры волнового поля связаны с довольно широкими полосами разуплотнения пород, трещинами, малоамплитудными разрывами. Один из примеров строения таких зон приведен на рис. 18. Эти данные подтверждают достоверность результатов дешифрирования КС и показывают, что фиксируемые на поверхности системы линеаментов в основных чертах прослеживаются и на уровне продуктивного горизонта в виде зон мезотрещиноватости.

Таким образом, приведенная информация подтверждает представление о широком распространении дизъюнктивов на уровне продуктивных отложений. Однако само по себе это еще не характеризует их роли в современном строении месторождения.

Чтобы ответить на этот вопрос, следует обратить внимание на некоторые установленные геохимические особенности пластовой системы месторождения.

1. Совокупность геолого-геохимических данных показывает, что сероводород, распространенный в шатлыкском горизонте, поступил из верхнеюрского регионально сероводородсодержащего комплекса [46]. Генетическую связь сероводорода с верхнеюрской сульфатно-карбонатной формацией подтверждают результаты изотопных исследований В. В. Семеновича, С. П. Максимова, Р. Г. Панкиной и др. (1983 г.), Г. И. Амурского,

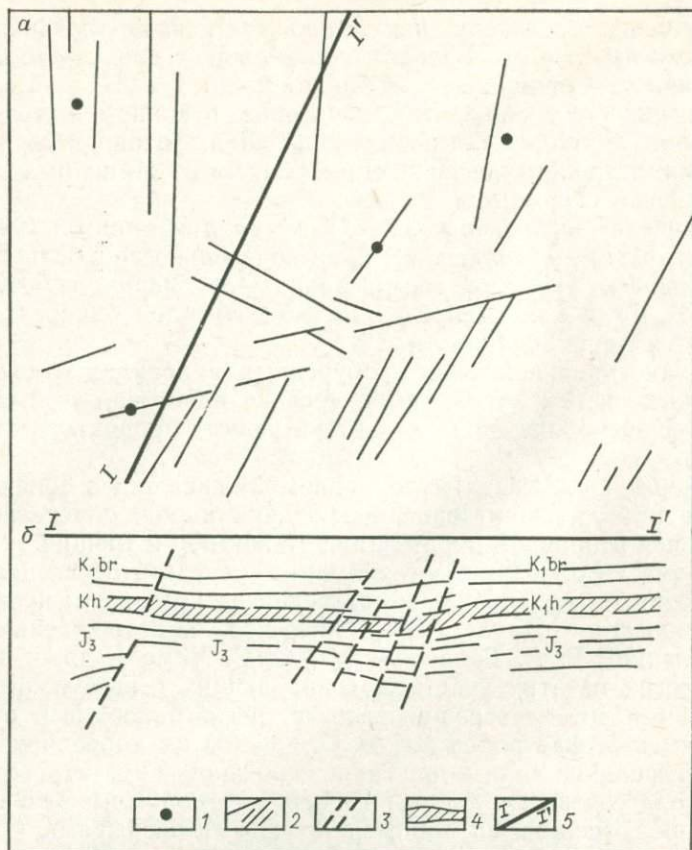


Рис. 18. Сопоставление результатов дешифрирования КС (а) и данных сейсморазведки (б) по Даулетабад-Донмескому месторождению (составил Н. Н. Соловьев, 1985 г.).

1 — скважины; 2 — мезотрещиноватость по результатам дешифрирования; 3 — дизъюнктивы по материалам сейсморазведки; 4 — шатлыкский продуктивный горизонт; 5 — сейсмопрофиль

В. М. Белого, Е. Я. Гаврилова и др. (1984 г.). При этом особенно показательное закономерное снижение концентрации свободного сероводорода от юго-восточной окраины внутрь северного (Донмеского) поля газоносности. Такими же закономерностями, но на большей площади, характеризуется распространение углекислого газа.

2. В составе твердой минеральной фазы продуктивного пласта обращают внимание особенности распределения различных форм железа: трех- и двухвалентной оксидной и сульфидной. Трехвалентные оксиды железа преобладают в западной части месторождения, где в пластовом газе отсутствует сероводород и содержится мало углекислоты (до 1 %). Они отражают условия седиментогенеза и определяют красно-бурый цвет пород.

Двухвалентные оксиды железа распространены повсеместно, но их доля в сумме оксидов увеличивается в зоне сероводородного заражения. Здесь же в породах появляется сульфидная форма железа, отражающая его постседиментационное преобразование в результате взаимодействия оксидов (в основном трехвалентных) с сероводородом. Вследствие этого первоначальная красно-бурая окраска газосодержащих пород изменилась на зеленовато-серую¹.

3. Несмотря на однообразный состав углеводородной части пластового газа, устанавливается видимая тенденция закономерного изменения содержания ряда его компонентов или их отношений. С востока (юго-востока) на запад (северо-запад) увеличивается содержание гомологов метана, уменьшается величина отношения изобутанов и нормальных бутанов, плотность конденсата.

Отмеченные особенности пластовой системы Даулетабад-Донмезского месторождения подчеркивают весьма активную внутрипластовую дифференциацию различных компонентов свободного газа, свидетельствующую о гидравлическом единстве залежи северного поля газоносности.

Менее определено решается вопрос о достоверности существования разломов, выполняющих функции тектонических экранов и определяющих южную и восточную границы северного газоносного поля месторождения. Здесь необходимо учитывать следующие обстоятельства. Во-первых, в юго-восточной части месторождения мощность основной продуктивной пачки местами сокращается до 10 м и даже меньше. Во-вторых, на первый взгляд, аргументированной альтернативы тектонически экранированной модели строения месторождения не существует. Именно эти посылки, на наш взгляд, и явились основными для принятия при подсчете запасов газа в качестве рабочей модели тектонического экранирования. Между тем, ни предшествующие, ни последующие геолого-геофизические материалы не дают основания для выделения, а тем более определения точного местоположения разломов, способных выполнять такую роль.

Весьма активная гидравлическая сообщаемость юрского и неокомского комплексов в юго-восточной части месторождения, помимо факта сероводородного заражения, подтверждается существованием устойчивой положительной гидродинамической аномалии и повышенной минерализации пластовых вод, омывающих залежь. Причем своеобразие вертикальной разгрузки юрских флюидов состоит в том, что она носила (носит) выраженный площадный характер. Вертикальная проницаемость опесчаненных пород нижнего готерива и валанжина была лишь

¹ Характерно, что бурый цвет непроницаемых пропластков (глина, аргиллиты) сохранился.

усилена многочисленными системами мезотрещиноватости. По этой причине, например, распределение кислых компонентов на Даулетабад-Донмезском месторождении существенно отличается от их распределения на месторождениях, где вертикальная миграция сероводородсодержащего газа происходила по разломам.

Таким образом, совместная интерпретация данных дешифрирования КС, геофизических, геолого-промысловых и геохимических материалов, характеризующих пластовую систему месторождения, не подтверждают возможность природной реализации модели разломно-блокового строения Даулетабад-Донмезского месторождения. Вместе с тем, не следует рассматривать изложенное как попытку обосновать чисто пликативный вариант строения продуктивной толщи. Напротив, авторы придавали и придают очень большое значение элементам дизъюнктивной тектоники не только в истории формирования, но и в современном строении месторождения. Речь идет лишь о том, что выделенные ранее и действительно существующие многочисленные дизъюнктивы (зоны трещиноватости) относятся к категории почти безамплитудных. А это, в свою очередь, не позволяет аппроксимировать, например, строение северного поля газонасыщенности моделью тектонического экранирования.

На наш взгляд, Даулетабад-Донмезское месторождение все еще находится в стадии формирования. В его головной части происходит рассеяние газа, однако его темпы значительно ниже темпов поступления газа в залежи. Масштабному расформированию месторождения по восстанию водонасыщенных пород неокомского надъяруса препятствует зона местных гидравлических сопротивлений, функционирующая в области вертикальной разгрузки юрских флюидов. Возникновение зоны гидравлических сопротивлений в неокомском комплексе связано с интенсивным разгазированием юрских флюидов в новых термодинамических условиях и закупоркой пор пузырьками газа.

Результаты исследования многочисленных поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин показали аномально высокую водообильность газонасыщенной части продуктивного пласта. Это свидетельствует о том, что гравитационное разделение воды и газа еще не завершилось. Причем в некоторых частях залежи моноклинального склона концентрированные объемы воды, по-видимому, оказались задержанными в «гравитационных нишах». В других частях залежи отжимаемая вода могла образовывать «струи», локализованные в зонах дизъюнктивного дробления пород, обладающих привилегированно-ориентированной проницаемостью. Возможно, что продолжающаяся внутрипластовая дифференциация воды и газа — одна из причин существенных колебаний начального пластового давления в разных частях месторождения. Размах этих колебаний мог быть усилен и существенными пространственными вариациями естественной влажности пластового газа.

В целом изучение по результатам дешифрирования КС дизъюнктивной характеристики Даулетабад-Донмезского месторождения позволило:

определить площадь возможной фильтрации сероводородсодержащих флюидов из юрских отложений в неокомские;

уточнить контуры зоны сероводородного заражения;

реконструировать условия и время формирования зоны сероводородного заражения (участки высокой концентрации трещиноватости, а особенно узлы пересечения систем трещиноватости разного простирания могут служить привилегированными каналами поступления из верхнеюрского комплекса свободного и водорастворенного сероводорода);

дать прогноз условий возникновения ряда негативных явлений (избирательное внедрение законтурных пластовых вод по зонам повышенной трещинной проницаемости, дополнительное поступление сероводорода по зонам мезотрещиноватости и др.); в процессе разработки месторождения, на участках, где водонасыщенный коллектор располагается гипсометрически выше газонасыщенного, по системам мезотрещиноватости может осуществляться избирательное обводнение залежи «сверху».

IV.1.2. Ярегское нефтяное месторождение

Ярегское месторождение интересно с позиций не только разработки методики выделения по дистанционным материалам зон тектонической трещиноватости, но и проверки их достоверности, так как оно изучено большим числом скважин и горных выработок.

Месторождение приурочено к западной части обширной Ухтинской антиклинали и занимает ее наиболее приподнятую сводовую часть, представляющую собой асимметричную складку, ориентированную с северо-запада на юго-восток. В общих чертах сохраняется подобие современного и древнего планов структуры. Складка осложнена многочисленными нарушениями и трещинами, формирование которых, по данным Л. С. Титова, происходило в две фазы. На этапе формирования антиклинального перегиба заложилась крутопадающая сбросы преимущественно северо-западного направления, а на более позднем этапе (в условиях растяжения) возникли нарушения (без смещения или со смещением 1—5, реже 10 м) двух основных направлений — широтного и близкого к меридиональному.

Месторождение характеризуется рядом специфических черт строения: неглубоким (около 170—180 м) залеганием основного продуктивного пласта III живецко-эйфельского яруса среднего девона, обусловившим низкую пластовую температуру — $6 \div -6$ °С; сильной нарушенностью структуры, особенно в своде, вызвавшей окисление нефти; слабой энергией пласта из-за низкого пластового давления.

При весьма высоких пористости (общая в среднем 22,8 %, эффективная 14—15 %) и проницаемости (до 7 мкм² при средней в 1 мкм²) коллектора — хорошо отсортированного кварцевого песчаника — 70—75 % добычи обеспечивается за счет мелкотрещинного коллектора (трещины отдельности), остальные 25—30 % получают из крупнотрещинного коллектора, представляющего собой локальные зоны дробления большой емкости, секущие разрез. Скважины, вскрывающие такие зоны, обеспечивают добычу в 200 раз большую, чем при разработке мелкотрещинного коллектора, хотя имеют сравнительно недолгий срок работы.

Указанные особенности месторождения определили генеральную линию его освоения на всех этапах — выявление и изучение зон разломов и тектонической трещиноватости как наиболее флюидопроводящих и даже содержащих значительные объемы сравнительно легко извлекаемой нефти. С этих позиций имеющийся по Ярегскому месторождению материал может рассматриваться как беспрецедентный, так как месторождение изучено «изнутри» как ни одно нефтяное месторождение Советского Союза, и ни одно из вскрытых выработками нарушений, вплоть до внутрипластовых трещин, не осталось без внимания. Однако и при таких исключительных возможностях исследований возникли свои трудности: частое пересечение нарушений разных направлений затрудняет, а нередко и не позволяет установить трассу дизъюктива в целом. Как можно судить по работам П. И. Мотовилова, К. И. Псаломщиковой, Н. Ф. Буланова и др. (1970 г.), Г. П. Левина, И. А. Куклина, Т. Г. Демидовой и др. (1979 г.), большая часть нарушений и протяженных трещин на месторождении трассируется предположительно.

Сравнительно длительное и целенаправленное изучение разломно-трещинной тектоники Ярегского месторождения привело к заключению, что здесь, как и в регионе в целом, наиболее древними и крупными являются нарушения северо-западного и меридионального направлений, а северо-восточные и субширотные — относительно более молодые и не всегда находят отражение в геофизических полях. По отношению к простиранию складки северо-западного направления продольные, северо-восточные — поперечные, а широтная и меридиональная системы — диагональные. Зафиксированы также оперяющие сколы и трещины разнообразной ориентировки. Преобладающее большинство тектонических трещин имеет крутые углы падения в пределах 60—90°.

Из крупных (для данной складки) тектонических нарушений с амплитудами смещения более 10 м предположительно выделяются лишь два, имеющих северо-западное направление, — по западному и восточному крыльям Ярегской антиклинали, причем на западном крыле от основного сброса на север трассируется система меридиональных нарушений с расстоянием между ними в 1—3 км. Большинство трещин либо сомкнуты,

либо с затертыми стенками и зеркалами скольжения, либо заполнены вторичными минералами и озокеритом. Трещины, заполненные песком, брекчией, тонкозияющие или сопровождаемые зоной дробления, представляющие наибольший интерес как возможные флюидоводы, составляют ничтожно малый процент от всего количества трещин. Несколько выше он у трещин северо-западного направления, а субмеридиональные и субширотные чаще затерты, сомкнуты и представляют сколы параллельного падения. Их способность пропускать флюиды минимальна. Трещины северо-восточного направления с определенными смещениями выстраиваются в зоны и чаще всего заполнены тектонической глиной. Наибольшее значение для нефтеотдачи имеют трещины и сбросы северо-западного и северо-восточного направления, степень раскрытости которых на разных участках неравнозначна.

Роль тектонических трещин и разломов сбросового типа на Ярегском месторождении не ограничивается формированием зон повышенной проницаемости. Осуществляя связь пластов мелкотрещинного коллектора, они и сами служат аккумуляторами нефти и газа. По данным К. Г. Болтенко и А. И. Ечеистова, начальные дебиты скважин, вскрывающих крупнотрещинный коллектор, достигают 100 т/сут нефти (из мелкотрещинного 0,5—1 т/сут), до 1500 т/сут воды и до 100 м³/сут газа, однако продуктивность таких скважин недолговечна. С глубиной в крупнотрещинных зонах газонасыщенность нефти увеличивается, в то время как в своде структуры газ отсутствует. Сильная нарушенность структур притертыми, заглинизированными разноориентированными трещинами нарушает монолитность раздробленных зон, прерывая свободное перемещение флюидов и затрудняя возможность прослеживания всей трассы раздробленной зоны.

Изобилие трещин разного генезиса, возраста, размеров, направления, заполненности — раскрытости, сложные их взаимоотношения, выявляющиеся при визуальном изучении зоны разлома или трещиноватости «изнутри», вуалируют принадлежность части из них к упорядоченным зонам. Только «дистанционное» изучение крупномасштабных схем трещиноватости нефтяных полей Ярегского месторождения, составленных в разные годы Н. Н. Интиным, К. Г. Болтенко, А. И. Ечеистовым, Г. П. Левиным и другими исследователями, позволяет отметить определенную тенденцию к группировке их в системы. Поэтому даже спустя более 50 лет с начала разработки проблема трассирования дизъюнктивов даже на столь изученном месторождении сохраняет свою актуальность.

Для установления наиболее полной и объективной картины разломно-трещинной тектоники Ярегского месторождения и прилегающих территорий произведено дешифрирование комплекта дистанционных материалов, включающего среднемасштабные космические и крупномасштабные АФС, а также топографичес-

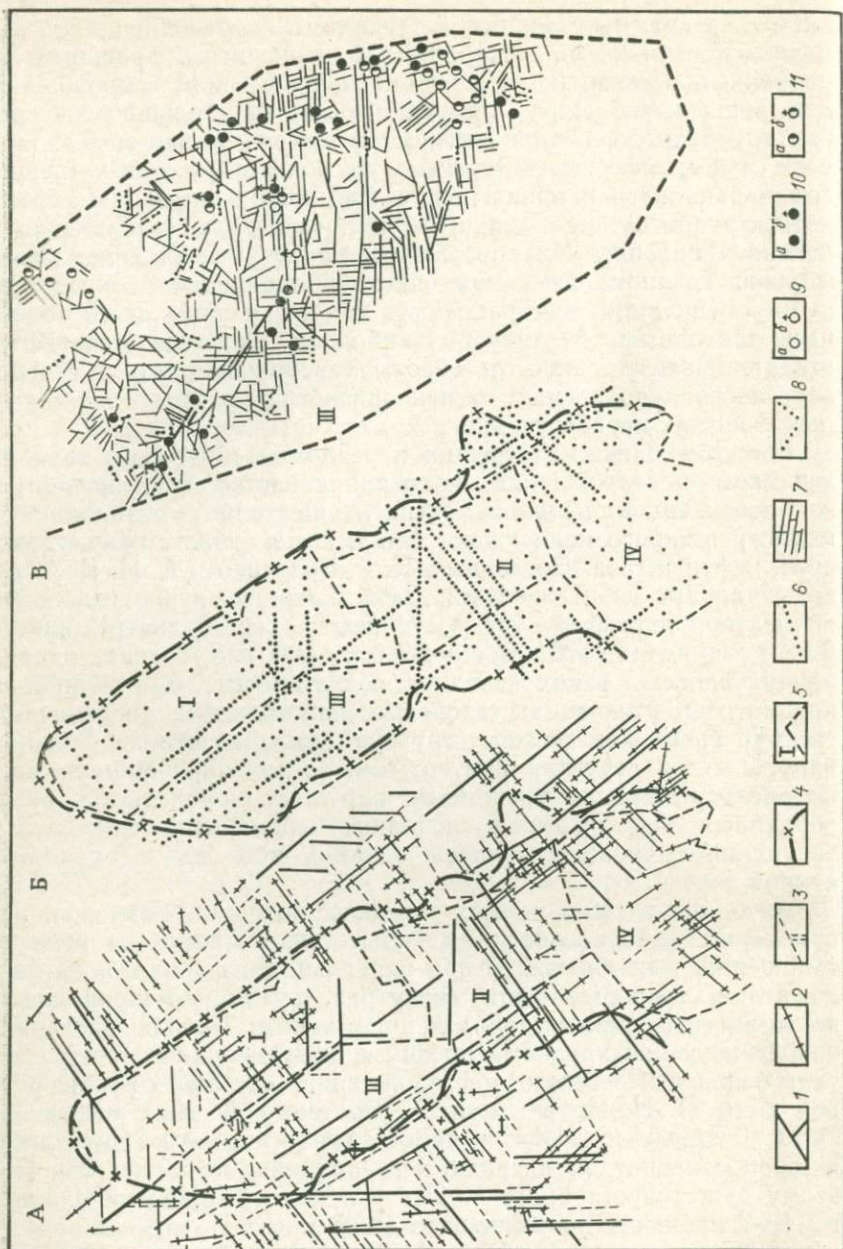


Рис. 19. Ярегское нефтяное месторождение, продуктивный пласт III (составил М. С. Бондарева, 1985 г.).

А — схема линеаментов, выявленных при дешифрировании дистанционных материалов; Б — схема прогноза участков повышенной флюидопроевдимости; В — генерализованная схема плана трещиноватости шахтного поля III по подошве горных выработок (по данным А. В. Пиндайкиной).

кую карту масштаба 1 : 100 000. На основании этих материалов сделана попытка «дизъюнктивной» переинтерпретации структурной карты кровли продуктивного горизонта III (основного) центральной части месторождения, построенной А. И. Еченстовым в 1956 г. Последняя выбрана на том основании, что структурная поверхность отражает, как правило, возможные участки развития нарушений и зон трещиноватости. Ими являются: линейно вытянутые полосы резкого сгущения изогипс; прерывистые, но имеющие продолжение трассы таких полос; линейная группируемость локальных положительных и отрицательных элементов поверхности. Ряд таких участков совпал в плане с трассами достоверно выделяемых разломов. Из этих же соображений произведено дешифрирование и топокарты, на которой нарушениям и (или) зонам тектонической трещиноватости соответствуют сравнительно резкие протяженные уступы, отраженные горизонталями, прямолинейные отрезки речных долин, притоки разных порядков и разных речных систем, образующих протяженные однонаправленные зоны.

Дешифрирование КС среднего масштаба Ярегской структуры и смежной территории (рис. 19, А) подтвердило полное соответствие выделенных линеаментов и их зон системам развитых в Притиманском районе региональных и зональных разломов, причем они зафиксированы в местах наибольшей своей активности в новейшее время. Линеаменты северо-западного направления на юго-западном крыле Ярегской складки совпали с трассой Большого Ярегского сброса, имеющего, по данным Г. П. Левина, И. А. Куклина, Т. Г. Дементьевой и др., по кровле фундамента амплитуду 150 м. Ширина его с опережающими нарушениями — трещинами по геологическим наблюдениям 1 км, на КС она несколько меньше. Достаточно уверенно по геолого-геофизическим данным проводят нарушение и вдоль восточного крыла складки в 6—7 км от первого. Эти нарушения наиболее крупные в районе месторождения.

Фрагментарное отображение на МДС линеаментов этой системы может указывать на неравнозначную динамическую природу соответствующих нарушений и позволяет определить наиболее активизированные ее отрезки, обладающие, видимо, повышенной флюидопроводностью или представляющие локальные участки развития крупнотрещинного коллектора, роль которого для Ярегского месторождения рассматривалась выше.

Линеаменты, выделенные при дешифрировании: 1 — КС среднего масштаба, 2 — АФС крупного масштаба, 3 — топографической карты крупного масштаба; 4 — контур нефтеносности; 5 — шахтные поля; 6 — предполагаемые участки повышенной проницаемости (количество точек убывает по мере ухудшения проницаемости); трещины: 7 — сомкнутые, с затертыми стенками и зеркалами скольжения, заполненные тектонической глиной, озокеритом и вторичными минералами, 8 — зияющие, тонко зияющие, сопровождаемые зонами дробления, заполненные песком, брекчией; 9, 10, 11 — участки интенсивного выделения соответственно газа, нефти и воды (а) и соответственно очаги газа и фонтаны нефти и воды (б)

На изучаемой территории по АФС (рис. 19, А) дешифрируются линеаменты разной, но сравнительно небольшой протяженности (от 150 до 3—4 км), высокая плотность которых на единицу площади позволяет объединять их в зоны или системы. В пределах собственно Ярегской структуры выделяются участки с минимальным числом линий, однако, располагаясь кулисообразно, они образуют довольно протяженную трассу.

На АФС, как и на КС, наиболее отчетливо в районе Ярегского месторождения дешифрируются линеаменты северо-западного и северо-восточного направлений. На периклиналях складки линеаменты этих и ортогональных направлений образуют полосы шириной в 1,5—2 км с высокой концентрацией линеаментов. Обращает внимание почти полное отсутствие линеаментов над нефтяным полем складки, хотя за его пределами северо-западные и северо-восточные системы находят четкое продолжение.

Помимо территории собственно месторождения в изучаемом районе определились и другие участки отсутствия линеаментов: к востоку от нижнего течения р. Яреги, к западу от среднего течения р. Доманник, на далеком северо-восточном крыле Ярегской складки и в ряде других мест. Такие участки занимают сравнительно плоские водораздельные пространства, слабо расчленены и несут признаки новейшего воздымания. Установленному факту пока не найдено достаточно аргументированного объяснения, хотя он зафиксирован нами во многих нефтегазоносных районах страны.

Линеаменты северо-западного направления дешифрируются весьма отчетливо, однако их трассы представлены чаще всего единичными линиями, прерываемыми линеаментами северо-восточного и иных направлений, что указывает на относительно более раннее время возникновения и фрагментарную активность первых. Их ориентировка и плановое положение близки к положению трещины, проходящей в западной части третьего шахтного поля на карте К. Г. Болтенко, хотя отдешифрованная зона имеет более простое строение, чем изученная в горных выработках. Далее к востоку в бассейне р. Доманник в полосе шириной около 5 км линеаменты этой системы дешифрируются весьма отчетливо, и по строению современной поверхности можно заключить об их структуроформирующем значении и на новейшем этапе. На территории месторождения дешифрируются лишь незначительные по протяженности фрагменты северо-западных линеаментов, хотя горными выработками и в скважинах установлено присутствие нарушений этого направления в пласте-коллекторе.

Дешифрирование топокарты (рис. 19, А) имело целью проследить поведение гидросети как наиболее информативного индикатора ослабленных зон земной коры и строение денудационной поверхности, отражающей при незначительной мощности рыхлых отложений общие черты строения ловушки. Наилучшей

выраженностью «упорядоченных» ориентировок в районе характеризуются долины и русла водотоков северо-восточного направления, имеющие четкую параллельность, прямолинейность и находящие продолжение на водоразделах в виде узких заболоченных ложбин.

Существенные различия в количестве отдешифрованных линеаментов и установленных в горных выработках систем трещин позволили провести «дизъюнктивную» переинтерпретацию пликативного варианта структурной поверхности продуктивного горизонта III, составленной А. И. Ечевистовым в 1956 г. в масштабе 1:10 000 на часть месторождения. Наблюдения Н. В. Татарина показали, что наибольшей крутизне склонов, отраженных на структурной карте сгущением изогипс, соответствуют сбросы, т. е. разломная подошка структурной поверхности уже была установлена.

Дизъюнктивная реконструкция структурной поверхности продуктивного горизонта III показала преобладание ортогональной сетки линейных элементов (кстати, более ощутимой и на топографической карте, нежели на КС и АФС). Максимальной плотностью трещин-нарушений характеризуется юго-восточная половина третьего шахтного поля, отсеченная от северо-западного участка выдержанной линейной зоной северо-восточного направления. Северные участки первого и второго шахтных полей имеют спокойное строение, хотя дешифрирование КС и АФС и топокарты показало наличие здесь и особенно за пределами складки плотной сети линеаментов четырех основных направлений.

Сравнение реконструированной карты с картами линеаментов показало определенные расхождения в количестве и местоположении линеаментов и зон предполагаемых разломов и хорошее совпадение в их ориентировках, хотя на всех МДС несоизмеримо меньше линеаментов субширотной ориентировки. На МДС четко видна системная упорядоченность, ширина и протяженность наиболее мобильных участков линеаментных зон северо-восточного и северо-западного направлений. Объясняется это следующим:

1. Исходная карта существенно детальнее МДС (ее масштаб 1:10 000).

2. Малоамплитудные нарушения и безамплитудные трещины, зафиксированные в коллекторе, затухают вверх по разрезу и не проявляют себя в современной поверхности (кстати, они не оказывают сколько-нибудь значительного влияния и на коллектор, так как либо притерты, либо выполнены тектонической глиной). На МДС в виде линеаментов зафиксированы «следы» новообразованных или возрожденных и ослабленных зон, отражающих новейшее поле напряжений.

3. Невозможность точного планового совмещения структурной карты со схемами дешифрирования, что не всегда позволя-

ет идентифицировать выделенные на них разломы и трещины с линеаменентами.

При сравнении полученных схем дешифрирования с материалами разведки и разработки Ярегского месторождения можно отметить в целом удовлетворительное совпадение элементов разломной тектоники. При этом МДС фиксируют наиболее молодые, активизированные их зоны, что имеет непосредственное выражение в флюидопроводимости и даже флюидоемкости (на рис. 19, Б отражена попытка прогнозирования таких зон в пределах месторождения). При разработке месторождений вязкой тяжелой нефти эти факторы имеют первостепенное значение. Особое внимание в этом случае следует уделить дешифрированию КС, так как степень их генерализации такова, что линеаменты чаще всего видны по аномалии фототона, которая образуется благодаря поступлению к поверхности глубинных флюидов, отличающихся от поверхностных температурой, химическим составом, обильностью и пр. В связи с явными признаками «открытости» (флюидопроводимости) участков зон трещиноватости, видимых на КС, последние могут рекомендоваться для размещения планируемого объема эксплуатационных скважин (шпуров).

Уверенность в объективности полученной по МДС информации позволяет сделать определенную «поисковую» оценку и смежных территорий. В этом и можно видеть основное значение МДС — в короткие сроки, без каких-либо значительных затрат, с минимальным числом исполнителей получить информацию о новейшей трещинно-разломной тектонике исследуемого участка нефтегазоносного бассейна.

IV.1.3. Вуктыльское газоконденсатное месторождение

Вуктыльское месторождение разрабатывается уже более 15 лет, и к настоящему времени здесь наметилась тенденция к устойчивому снижению добычи при явных признаках площадного обводнения. Особая острота проблемы заключается в появлении очагов опережающего обводнения.

В связи с тем, что Вуктыльская складка в основном сложена карбонатными породами с широко развитыми трещинами, способствующими проникновению в залежь пластовой воды и формированию зон и очагов обводнения, тщательное изучение закономерностей их распределения и выявления зон концентрации является определяющей задачей данного периода разработки месторождения. Для месторождения проведен комплексный анализ МДС совместно с имеющимися геолого-геофизическими и промыслово-гидрогеологическими данными, целью которого было установление зон повышенной проводимости пластовых вод, создающих угрозу преждевременного обводнения газоконденсатной залежи, разобшение ее на изолированные блоки.

Вуктыльская структура представляет собой принадвиговый асимметричный вал субмеридионального простирания, сводовая часть которого осложнена поднятиями — Нижне-, Средне- и Верхневуктыльским. Длина вала 85 км, ширина 3—5 км, амплитуда по продуктивному комплексу достигает 1500 м. Западное крыло крутое, ограничено взбросо-надвигом, амплитуда которого возрастает с севера (600 м) на юг (800—1000 м). Плоскость нарушения наклонена к востоку под углом 70—80°, с глубиной угол уменьшается до 10°. Помимо основного надвига сейсморазведкой и бурением установлено несколько поперечных малоамплитудных сбросов, хотя проектом разработки принята пликвативная модель структуры.

В строении Вултыльского вала выделяют два самостоятельных структурно-тектонических плана — верхний, образованный пластиной надвига (аллохтон), и нижний — поднадвиговый (автохтон). Верхняя, аллохтонная часть структуры содержит основную разрабатываемую газоконденсатную залежь массивного типа. Газоконденсатная залежь высотой 1440 м подстилается нефтяной подушкой, имеющей прерывистый характер распространения. Покрышкой залежи служат глинистые породы верхнеартинского подъяруса и гипсоангидритовая толща кунгурского яруса. Мощность покрышки в пределах месторождения изменяется от 200 до 700 м, увеличиваясь в южном направлении.

Продуктивные отложения аллохтонной части Вуктыльского месторождения относятся к коллекторам порово-трещинного и трещинно-порового типа с неоднородными физическими и фильтрационно-емкостными свойствами по площади и разрезу. Как показали геолого-геофизические исследования и условия разработки, эта неоднородность обусловлена не только пестрым литологическим составом, но и наличием горизонтальных, вертикальных и наклонных трещин как сквозных, так и затухающих, сутуро-стилолитовых структур разной ориентировки и карстовых пустот в чистых известняках каменноугольного и нижнепермского возраста. Неоднородность продуктивного разреза, обусловленная трещиноватостью, была зафиксирована еще на этапе разведки месторождения, а появление в ряде скважин, забой которых превышали уровень ГВК на 100 м и более, пластовой воды при опытно-промышленной эксплуатации привело к мнению о присутствии в разрезе структуры вертикальных тектонических трещин. Однако отсутствие методов, позволяющих получить информацию о пространственном положении зон трещиноватости в коллекторе, не позволяло реально оценить масштабы этого явления.

Присутствие трещин и вторичных пустот в коллекторе Вуктыльского месторождения зафиксировано при изучении кернов и больших шлифов А. В. Саломатиным, Ю. Ф. Клейносовым, А. Г. Гмид, К. Н. Багринцевой, Я. Н. Перьковой, В. И. Сливковым и др., позднее широкое их развитие подтвердили геофи-

зические исследования скважин, проводимые ВГО «Союзгаз-геофизика». При этом разрез с максимальной трещиноватостью оказался неизученным, так как керн из наиболее раздробленных интервалов не был поднят. Однако такие явления, как провалы инструмента, увеличение номинального диаметра скважин, аномальные поглощения промывочной жидкости (более 190 м³), сверхвысокие дебиты газа, раннее появление пластовой воды выше ГВК и др., расцениваются Я. Н. Перьковой как косвенные показатели развития в коллекторе открытых тектонических трещин. Все это еще на начальном этапе эксплуатации месторождения позволило В. Н. Корценштейну, Г. П. Лысенину, О. А. Солнцеву сделать прогноз широкого развития в его резервуаре зон трещиноватости — потенциальных путей опережающего обводнения и нацелить на изучение закономерностей их распределения по площади и разрезу и определения их параметров.

Фактический материал, однозначно указывающий на наличие в коллекторе трещиноватости, лишь фиксирует ее в скважине. Для установления планового положения трещиноватости на структуре единственно надежным и объективным методом можно считать дешифрирование МДС. Сочетание указанных методов и способов выявления и изучения трещиноватости, как показал опыт работы на Даулетабадском месторождении, может дать хороший результат, имеющий практическое значение. Ранее (в 1973 г.) Г. И. Амурским, О. А. Солнцевым и др. на Вуктыльском месторождении проводилось целенаправленное дешифрирование АФС с целью определения закономерностей развития трещиноватости, однако полученные результаты не нашли практического применения.

Дешифрирование набора МДС привело к выделению большого числа линеаментов, группирующихся в зоны шириной 1—5 км [4]. Среди них доминируют зоны северо-западной и северо-восточной ориентировки. В строении зон наблюдаются различия, заключающиеся в изменении плотности, протяженности и интенсивности проявления элементарных линий. Подмечено, что линеаменты, отображенные на КС, при пересечении собственно складки как бы ступеньваются, а на АФС выражены единичными линейными элементами ландшафта. На этом основании предполагается различное состояние (водобильность, гидрохимическая и температурная характеристики) зон трещиноватости вне структуры и внутри нее.

Количественное преобладание линеаментов северо-западной и северо-восточной ориентировки на территории Вуктыльского месторождения В. В. Юдин, Л. Н. Розанов, Н. В. Сахарова и др. объясняют историей развития и формирования разломных систем региона.

Анализ материалов скважин позволяет практически однозначно говорить о соответствии выделенных систем линеаментов зонам повышенной трещиноватости в коллекторе. Это подтверж-

дается прямыми и косвенными признаками присутствия в породах трещин (в керне и больших шлифах), данными бурения и опробования скважин, геофизических и промыслово-геогеологических исследований скважин, оказавшихся внутри зон выделенных линеаментов.

Непосредственно в зонах линеаментов установлено:

максимальные значения параметров трещиноватости керна (в 17 скважинах);

значительные поглощения промывочной жидкости (более 7 скважин), провалы бурового инструмента;

аномальные притоки газа, полученные при испытании и разработке (в 13 скважинах);

увеличение номинального диаметра скважин, установленное геофизическими исследованиями (в 11 скважинах);

притоки пластовой воды из интервалов, расположенных значительно выше ГВК, появление пластовой воды при испытании или на ранних стадиях эксплуатации (более 7 скважин).

В ряде скважин, оказавшихся в зонах трещиноватости, фиксируется комплекс вышеперечисленных признаков.

Изложенное можно интерпретировать следующим образом: выделенные по АФС системы линеаментов — это поверхностное отражение зон повышенной раздробленности и флюидопроводимости, развитых в резервуаре Вуктыльского газоконденсатного месторождения.

Прежде чем перейти к анализу возможных путей и зон опережающего внедрения пластовой воды в залежь Вуктыльского месторождения, необходимо дать характеристику гидрогеологической обстановки, сложившейся на месторождении к настоящему времени.

Более чем за 15 лет эксплуатации Вуктыльского месторождения уровень ГВК (принятый) повысился в среднем на 35 м (первоначальный уровень — 3350 м, принятый сейчас — 3316 м). За это время наблюдалось и весьма неравномерное падение пластового давления (на Южном куполе в зоне дренирования за 9 лет разработки давление снизилось на 20 МПа, в центральной части — на 15 МПа). Режим работы залежи из чисто газового стал частично упруговодонапорным. Однако месторождение эксплуатируют без поддержания пластового давления, чему способствует напор внедряющихся вод. Количество поступившей в залежь воды различно на отдельных участках месторождения, что выражается в разновысотных уровнях текущего ГВК на Среднем, Южном и Северном куполах (соответственно — 3332 и — 3103 м) и даже в близко расположенных скважинах.

Трудность изучения поведения ГВК связана с несколькими причинами: сложностью строения карбонатного коллектора — его литологической неоднородностью по площади и разрезу; наличием значительной по мощности переходной зоны сложного взаимодействия нефти, газа и воды, затрудняющей более точ-

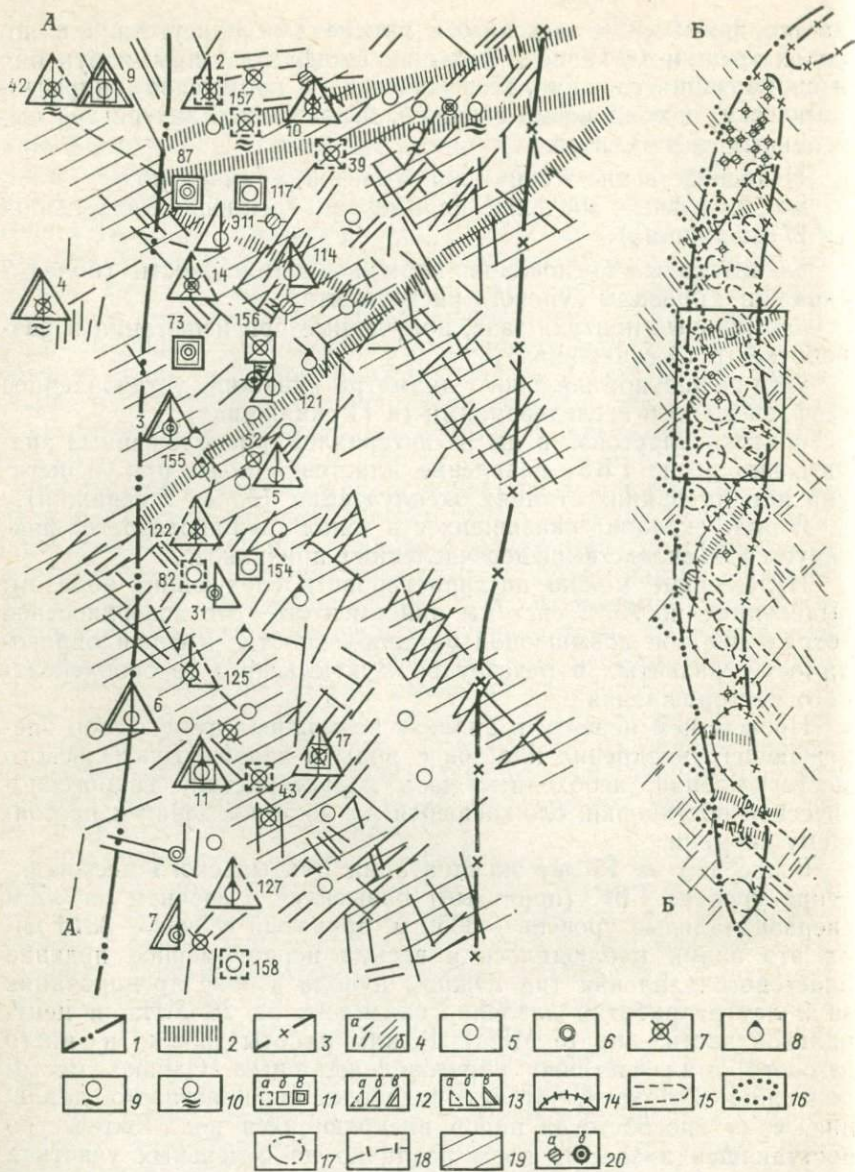


Рис. 20. Вуктыльское газоконденсатное месторождение (составили Г. И. Амурский, М. С. Бондарева, Л. В. Пименова, 1985 г.).

A — участок детального дешифрирования зон мезотрещиноватости; *Б* — схема прогноза обводнения залежи (в рамке — участок *A*).

1 — основной надвиг; 2 — субпоперечные сбросы, выявленные геофизическими методами; 3 — ГVK; 4 — зоны мезотрещиноватости, выявленные по АФС на месторождении (*a*), и их законтурные участки (*b*); 5 — скважины; 6 — признаки трещиноватости в скважинах; 7 — зоны потери корреляции; 8 — провалы бурового инструмента, разрушение ствола скважины (увеличение номинального диаметра), 9 — аномально высокие дебиты газа (более 10^6 м³/сут), 10 — наличие трещин в продуктивном разрезе, по данным ГИС; 11 — поглощение промывочной

ную отбивку отметок ГВК; широким развитием трещин и полостей выщелачивания, которые определенным образом влияют на положение ГВК. К настоящему времени большинство скважин работает с выносом пластовой воды, а некоторые из них дают в продукте воду уже с 1971 г. Подавляющее количество скважин, дающих воду, работают с водным фактором ниже $6 \text{ м}^3/\text{сут}$, хотя есть скважины, где фактор равен $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ и более.

В пределах месторождения на фоне закономерного подъема ГВК Г. П. Лысенин выделил несколько очагов водопроявлений. Основной расположен в районе Среднего купола, локальные — на севере. На Среднем и Южном куполах водопроявления имеют практически площадной характер. Внедрение пластовой воды идет со стороны восточного крыла. В ряде скважин, под данным Г. В. Рассохина и Г. П. Лысенина, обнаружена краевая вода западной законтурной области, появление которой при наличии экранирующего залежь надвига может быть объяснено лишь нарушением его герметичности. Скважины с водопроявлениями размещены в зоне пересечения основного надвига зонами северо-западных линеаментов. Этот факт, а также снижение уровня пластовой воды в наблюдательной скважине, расположенной перед западным надвиговым крылом структуры и оказавшейся в зоне северо-западных линеаментов, можно считать наиболее важными для обоснования возможности корреляции линеаментов и зон трещиноватости на уровне коллектора.

Изложенные соображения о характере, причинах и местах водопроявлений в пределах Вуктыльского месторождения убеждают в целесообразности привлечения результатов обработки МДС для прогнозирования возможных направлений продвижения воды в залежь. Анализ планового расположения выделенных по МДС систем и разноориентированных зон мезотрещиноватости с привлечением данных геолого-геофизических исследований и материалов разработки позволил наметить участки наиболее вероятного избирательного обводнения.

На площади месторождения выделены участки и зоны обводнения следующих типов: зоны поступления в залежь краевой воды, зоны формирования опережающего обводнения, участки очагового обводнения (рис. 20).

жидкости (a — незначительное, b — $<50 \text{ м}^3/\text{сут}$, v — $>50 \text{ м}^3/\text{сут}$). 12 — густота трещин, m^{-1} (a — $0-50$, b — $50-100$, v — >100). 13 — трещинная проницаемость, 10^{-14} м^2 (a — <1 , b — $1-5$, v — >5); 14 — основные очаги водопроявлений по гидрохимическим показателям; типы обводнения газоконденсатной залежи, прогнозируемые на основании результатов дешифрирования МДС; 15 — участки «опережающего» подъема пластовых вод, 16 — возможные участки внедрения краевых вод из западной законтурной зоны, 17 — узлы формирования возможного очагового обводнения, 18 — границы участка очагового площадного обводнения; 19 — линейные зоны, по которым возможно разобщение залежи на изолированные блоки; 20 — проектные скважины (a) и скважина, рекомендуемая для бурения по результатам дешифрирования (b)

Основываясь на факте, что скважины, в которых установлено присутствие краевой воды западной законтурной области, приурочены к северо-западным зонам трещиноватости, в пределах Вуктыльского вала можно выделить участки возможного проникновения таких вод в залежь. Приуроченность к этим зонам скважин с максимальными значениями фильтрационных (трещинных) параметров позволяет полагать, что основной надвиг, осуществляющий функцию тектонического экрана залежи, на участках пересечения его зоной мезотрещиноватости северо-западного направления утрачивает герметичность, а сами трещины служат путями проникновения краевой воды. Участки пересечения основного надвига с указанными зонами трещин можно считать потенциальными «окнами» прорыва краевых вод.

Зону северо-западных линеаментов, в пределах которой располагается скв. 42 (за структурой) (см. рис. 7), видимо, можно считать наиболее представительной для доказательства проводящих свойств трещин северо-западного направления: здесь полностью отсутствуют линеаменты северо-восточного направления, скв. 14 работает с постоянным выносом краевой воды, а в наблюдательной скв. 9, расположенной за надвигом, за время эксплуатации уровень воды упал более чем на 100 м; в большинстве скважин, находящихся в этой зоне, отмечаются прямые и косвенные признаки трещиноватости и все скважины в продукте содержат эпизодическую воду. Фрагмент этой зоны совпал с нарушением того же направления, выявленного геофизическими методами. Оказавшиеся в его пределах скважины характеризуются признаками и параметрами трещиноватости, сравнимыми с теми, которые имеют скважины, приуроченные к выявленной на АФС зоне линеаментов.

Проведенный анализ не оставляет сомнения в том, что дешифрированная система линеаментов соответствует линейным зонам разуплотнения в коллекторе, обладающим повышенной флюидопроводимостью. Участки опережающего обводнения, выделенные на основе комплексной интерпретации результатов дешифрирования и материалов промыслово-геогеологических исследований, приурочены к зонам линеаментов различной длины и ширины, имеющим северо-западную ориентировку, и распространены в основном на восточном крыле структуры.

Присутствие пластовых вод в продукции скважин восточного крыла Вуктыльского вала, наличие здесь полностью обводненных скважин, регистрации промыслово-геофизическими методами повышенной гамма-активности, косвенно указывающей на продвижение фронта пластовых вод, — закономерные явления, обусловленные отбором газа. О правомерности же выделения зон опережающего обводнения говорят результаты исследования скважин, не вскрывших ГВК и значительно удаленных от контура залежи, в продукции которых фиксируется постоянная или эпизодическая примесь пластовой воды, а также сква-

жин, давших воду уже на ранних этапах эксплуатации или в процессе испытания.

Возможность формирования участков очагового обводнения предполагается там, где по АФС отдешифрован узел пересечения максимального числа линеаментов различной ориентировки. Подтверждением реальности выделения участков очагового обводнения служит получение пластовой воды в интервалах на 200—300 м выше ГВК в скв. 73, 155, более чем на 300 м в скв. 151, притоки пластовой воды в процессе испытания или на начальной стадии разработки (скв. 170, 75) (см. рис. 7, 20).

Данные дешифрирования МДС позволили помимо прогнозирования зон и очагов обводнения наметить на площади Вуктыльского месторождения линейные участки, по которым возможно объединение потоков вод, поступающих с западного и восточного крыльев, что может привести к разобщению залежи на отдельные изолированные блоки. Такие зоны характеризуются сосредоточением в них всех прогнозируемых типов обводнения, имеют преимущественно северо-западную ориентировку и прослежены в центральной и южной частях месторождения.

Анализ результатов обработки МДС, геолого-геофизических и промыслово-гидрогеологических данных по Вуктыльскому месторождению, данные об условиях формирования и геологической истории развития тектонических нарушений Тимано-Печорской провинции позволили высказать предположение о главенствующей роли трещин северо-западной ориентировки при формировании зон и языков обводнения на территории месторождения и, основываясь на этом, считать их наиболее опасными участками, эксплуатация скважин в пределах которых должна вестись с учетом возможности их быстрого обводнения.

Опыт работ на хорошо изученном Вуктыльском месторождении, где накоплен значительный геолого-геофизический и промыслово-гидрогеологический материал, характеризующий трещиноватость карбонатного коллектора, может рассматриваться как методическая основа для проведения аналогичных работ на других месторождениях.

IV.2. ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ИЗУЧЕНИИ УСЛОВИЙ СОХРАННОСТИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Одним из перспективных, но фактически не разработанных направлений применения линеаментного анализа можно считать оценку продуктивности выявленных структур как по условиям сохранности залежей, так и по фазовому состоянию углеводородов в ловушке. Линеаментный анализ может применяться и при прогнозировании парагенетических или сопутствующих нефтяным и газовым месторождениям полезных ископаемых — битумов, озокерита, серы, брома, иода и др.

Основные особенности проведения такого анализа состоят в сложности оценки достоверности дифференциации линеаментов, отвечающих разрывным дислокациям, выполняющим разные функции. Флюидопроводимость разрывных нарушений, осложняющих локальные структуры, зависит не только от соотношения их амплитуды с мощностью покрывающей залежи, но и от их кинематического типа и характера изменения напряженного состояния горных пород в процессе нефтегазоаккумуляции и дальнейшего существования скоплений нефти и газа. В связи с этим необходимо иметь в виду следующие самые общие закономерности формирования (нахождения) залежей нефти и газа на локальных структурах, осложненных дизъюнктивами: месторождения в таких условиях, как правило, многопластовые;

среди залежей тектонически экранированного типа значимо преобладают нефтяные, причем среди них нередко встречаются очень крупные по запасам;

тектонически экранированные залежи газа встречаются значительно реже и имеют небольшую высоту (обеспечивающую небольшое избыточное давление) и малые запасы;

в большинстве случаев высота газовых залежей и глубина ГВК определяются положением линии пересечения дизъюнктивов с подошвой покрывающей;

в экстремальных условиях — при большой амплитуде разломов, формирующихся в условиях преобладающего растяжения, широкой зоне приразломного дробления и т. д. — герметичность ловушек полностью нарушается, и на таких структурах в приповерхностных слоях в лучшем случае возникают остаточные скопления битумов или другого минерального сырья, входившего в состав былых залежей (например, серы).

На основе этих принципов с учетом конкретной нефтегазогеологической ситуации была сделана попытка использования линеаментного анализа для оценки фазового состояния залежей на локальных структурах Юго-Западной Туркмении. Сопоставление данных дешифрирования КС с фактически установленным распределением нефти и газа показало следующее (таблица). Локальные структуры, осложненные многочисленными разломами, хорошо и однозначно дешифрируемы на КС, содержат либо нефть (месторождение Челекен и др.), либо являются непродуктивными (площадь Монжуклы). На локальных структурах, где по результатам дешифрирования выделены единичные разломы, выявлены нефтегазовые и (или) самостоятельные газовые и нефтяные залежи (месторождение Окарем и др.). Локальные структуры, в пределах которых разломы не дешифрируются, контролируют в основном залежи газа (месторождение Кызылкум и др.).

Очевидно, что, по крайней мере, преждевременно делать далеко идущие выводы о безусловной возможности проведения подобного анализа в других нефтегазоносных районах. Однако

Распределение нефти и газа на месторождениях Юго-Западной Туркмении в зависимости от наличия и числа разломов, осложняющих локальные структуры (по результатам дешифрирования КС)

| Месторождение | Наличие разломов, дешифрируемых на КС | Фазовое состояние залежей | | |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------|-----------------------|
| | | преимущественно газ | нефть и газ | преимущественно нефть |
| Челекен | Многочисленные | | | + |
| Кумдаг | ” | | | + |
| Небит-Даг | ” | | | + |
| Комсомольское | ” | | | + |
| Котур-Тепе | Единичные | | + | |
| Барсагельмес | Нет | | + | |
| Окарем | Единичные | | + | |
| Гограньдаг | ” | | + | |
| Камышлджа | ” | | + | |
| Кызылкум | Нет | + | | |
| Бурун | Единичные | + | | |
| Куйджик | Нет | + | | |

в качестве первоначального «грубого» прогноза в комплексе с другими геолого-геофизическими и геохимическими методами отдельного прогнозирования нефте- и газоносности он может иметь право на существование, в том числе в иных модификациях. В связи с этим заслуживает внимания опыт реконструкции условий дифференциации нефти и газа на новейшем этапе формирования Денгизкуль-Зевардинской зоны нефтегазоаккумуляции Амударьинского нефтегазоносного бассейна [5]. Было установлено, что характер дифференциации нефти и газа в подсолевой карбонатной толще юры в зонах новейших поднятий и абрис путей их наиболее вероятных перетоков находятся во взаимосвязи с размещением таких поднятий и зон мезотрещиноватости.

Отработка методических приемов дешифрирования линеаментов в пределах локальных структур была осуществлена на примере ряда хорошо изученных районов Средней Азии: Сернозаводская зона дробления Центральнокаракумского свода, Султансанджарский вал и Гаурдагский сероносный район эпиплатформенного орогена Юго-Западного Гиссара. Все они характеризуются явными признаками бывшего присутствия залежей углеводородов. Большой объем проведенных геолого-геофизических работ позволил получить достоверные сведения об их глубинном строении. Для линеаментного анализа использовались многозональные, синтезированные, цветные и черно-белые среднemasштабные снимки, но наиболее информативными оказались черно-белые и синтезированные.

Примером зоны активной дегазации недр служит Сернозаводская зона дробления Центральнокаракумского свода (рис. 21), дешифрирование которой проводили по среднemasштабным КС [3]. При интерпретации его результатов использо-

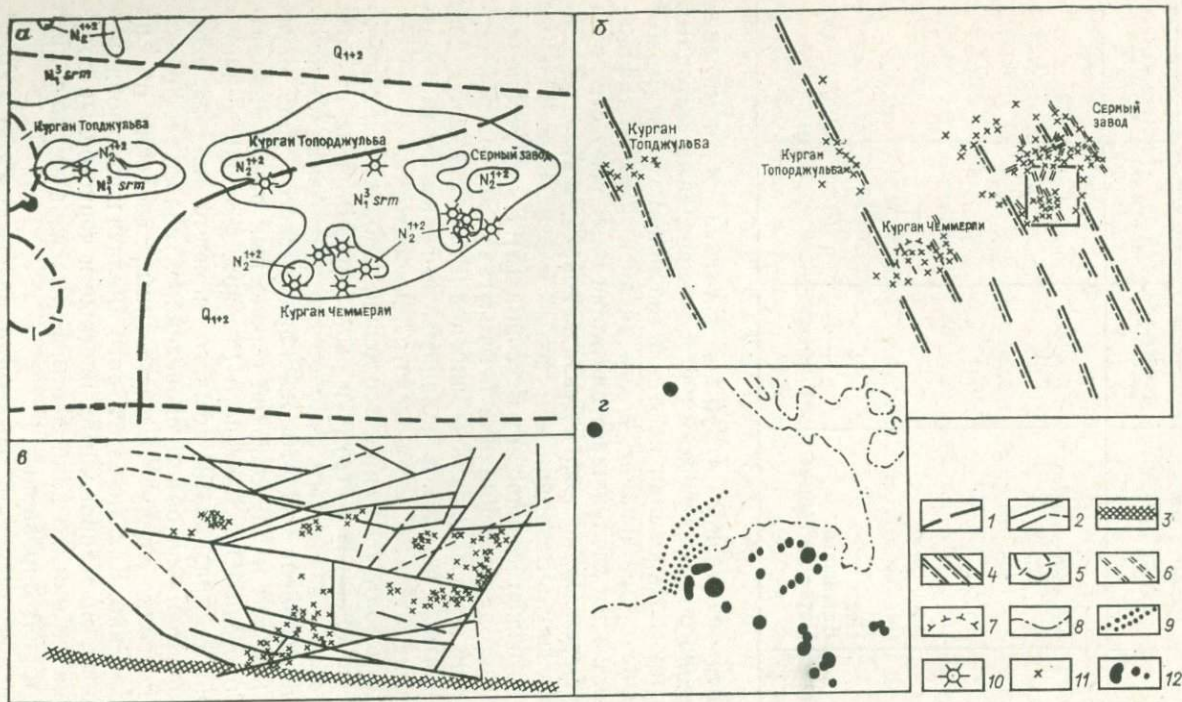


Рис. 21. Сернозаводская зона дегазации Центральнокаракумского свода [4].

Схемы строения зоны: а — по материалам геологической съемки, б — по геолого-геофизическим данным; схемы дешифрирования: в — КС, г — АФС (участок в рамке на рис. б) (по В. П. Мирошниченко, 1971 г.).

Разломы: 1 — в кровле меловых отложений, 2 — в юрско-неогеновом осадочном комплексе, 3 — Унгузский региональный глубинный разлом; 4 — линейменты, предположительно индизирующие зоны мезотрещиноватости (зоны повышенной флюидопроницаемости); 5 — локальные складки в кровле меловых отложений; 6 — зоны линейной группировки локальных положительных форм мезорельефа; 7 — локальное поднятие, дешифрируемое по выходам маркирующего горизонта; 8 — границы фотгеологических комплексов, соответствующие различным литолого-стратиграфическим подразделениям; 9 — маркирующие горизонты; положительные формы рельефа, часть которых соответствует серным буграм и их группам: 10 — на рис. а, 11 — на рис. б и в, 12 — на рис. г.

$N_1^3 srm$ — сарматский ярус

ваны геолого-геофизические данные и материалы исследований С. Н. Алехина, А. Г. Блискавки, З. Б. Хуснутдинова и др.

Разрешающая способность КС оказалась достаточной для опознания не только групп, но и отдельных серных бугров почти с той же детальностью, как и при дешифрировании АФС, выполненном ранее В. П. Мирошниченко и др. Кроме того, была получена и новая информация, заключающаяся в выявлении серии линеаментов различной протяженности северо-западного направления, которые не были обнаружены геофизическими методами, а также при дешифрировании АФС. Совпадение отдельных звеньев этих линеаментов с известными разломами, приуроченность к ним цепочек серных бугров позволяют уверенно отождествлять их с линейными зонами разуплотнения (повышенной флюидопроводимости), т. е. разломами. По-видимому, они наиболее молодые, так как трассируются, не меняя простирания, в среднеплиоценовых песчано-глинистых отложениях заунгузской свиты и бронирующей ее карбонатной коре выветривания, а к югу прослеживаются и в нижнесреднечетвертичных отложениях каракумской свиты. Можно предполагать, что они малоамплитудные, с субвертикальным положением сместителя, это и явилось причиной того, что они оказались неустановленными на сейсмических профилях.

Сравнение результатов изучения Сернозаводской зоны различными методами наглядно показывает целесообразность их комплексирования для получения более полной информации, позволяющей дать прогнозную оценку перспективности структуры на газ.

Характер серной минерализации, типы взаимоотношений ее с вмещающими породами, особенности строения серных бугров, их структурно-геоморфологическая выраженность и особенности геологической истории района не противоречат предположению о весьма позднем — послераннечетвертичном времени формирования этой группы месторождений самородной серы.

При дешифрировании среднемасштабных КС территории Султансанджарского вала Амударьинской синеклизы установлено (рис. 22), что осевой сброс, закартированный геолого-геофизическими методами, пересекающий Султанджарскую и Кошабулакскую складки, на КС виден не как единая линия, а сравнительно широкая (2—2,5 км) зона неоднородного строения с эрозионно-структурными останцами, провалами (?), группирующимися в цепочки. Восточная граница зоны почти везде проходит по протяженному уступу, указывающему на положение опущенного и поднятого крыльев. Зона осложнена короткими разноориентированными линеаментами-разломами, дробящими ее на мелкие блоки, что, безусловно, отражается на ее фильтрационных свойствах. Космические снимки позволили выявить многочисленные линеаменты новых направлений, не отмечавшиеся предшествующими исследователями. Особенно многочисленны линеаменты

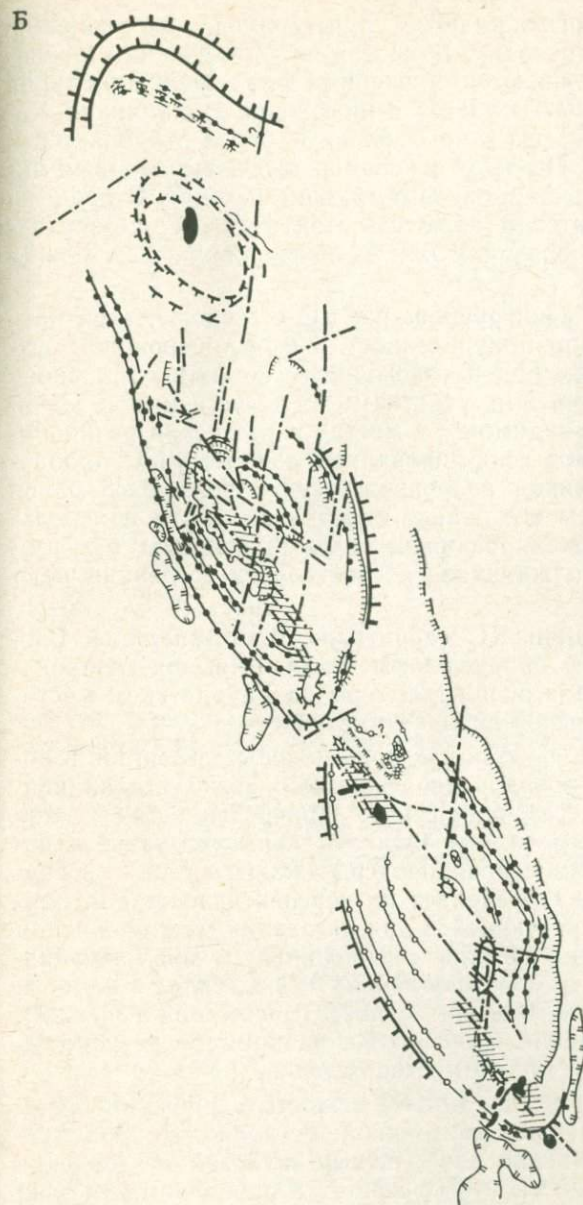
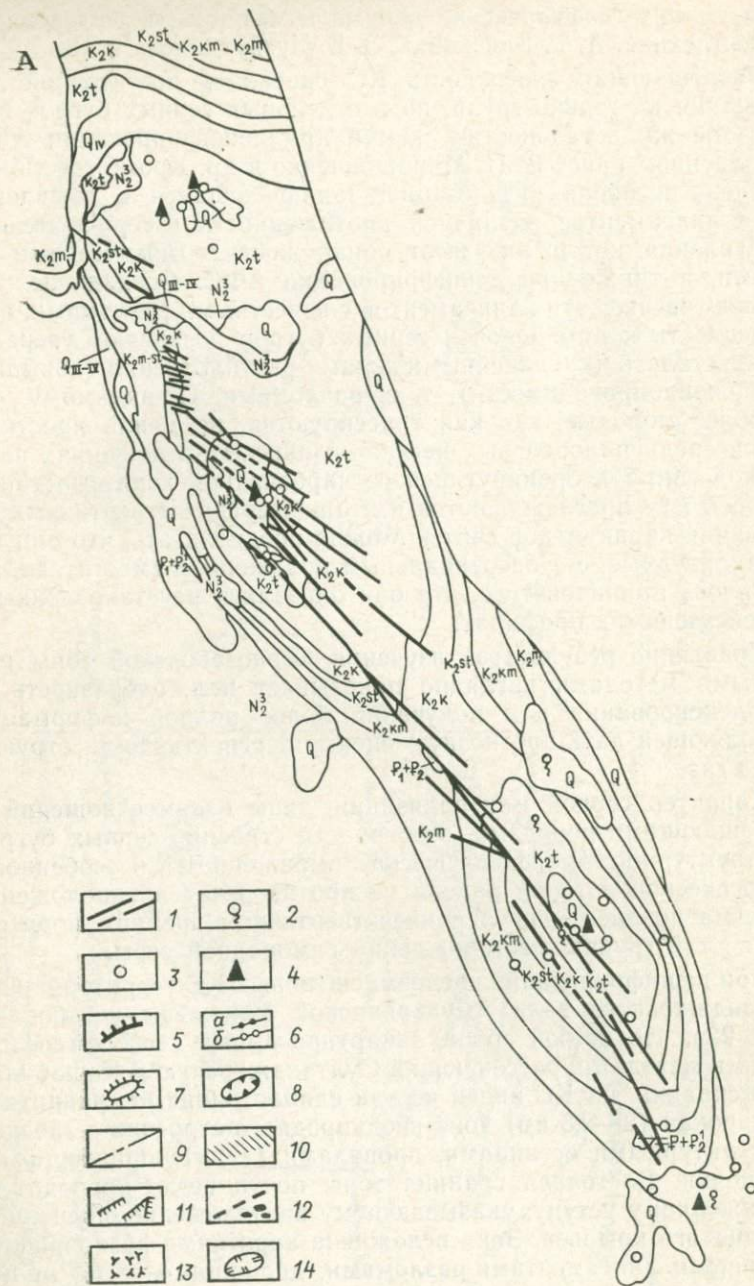


Рис. 22. Султансанджарская зона дегазации (Амударьинская синеклиза) [4].

А — строение Султансанджарского вала по материалам геологической съемки (по данным Б. З. Выменца, 1972 г., с упрощением); Б — схема дешифрирования КС территории того же вала. 1 — тектонические нарушения; 2 — источники пресных и минерализованных вод; 3 — скважины, 4 — нефтепроявления в скважинах; 5 — контуры складки; 6 — маркирующие горизонты, выходящие на дневную поверхность (а) и «просвечивающие» через золотые наносы (б); 7 — крупные эрозионные останцы; 8 — бессточные котловины; 9 — линейменты, отождествляемые с тектоническими нарушениями и зонами мезотрещиноватости; 10 — зона основного сброса, уверенно дешифрируемая на КС; 11 — эрозионно-денудационные уступы; 12 — цепочки мелких провалов, провалов, эрозионных останцев, приуроченных к зонам разломов; 13 — предполагаемый контур складки по глубоким горизонтам; 14 — впадины, занятые солонками, солеными озерами

северо-западного и юго-западного простирания, рассекающие Султансанджарскую складку. В местах их пересечения с основным сбросом прослеживаются смещения геологических контуров на 1—2 км. Это же наблюдается и на южной периклинали Кошабулакской складки, где зона основного сброса отклоняется к западу на 2—2,5 км. На этом основании вновь выявленные линейные элементы отождествлены с разломами. Они выходят за пределы складок и трассируются в области развития неоген-четвертичных отложений, т. е. возникли или активизировались на новейшем этапе.

Сравнение схемы дешифрирования КС с геологической картой (рис. 22) показало приуроченность самонзливающихся высокоминерализованных вод и газоводяных источников к вновь выявленным разломам или участкам их пересечения с зоной основного сброса. По-видимому, в местах пересечения разноориентированных разломов сформировались мощные узлы дробления, явившиеся причиной разрушения существовавшего ранее месторождения (следы его в виде окисленной нефти и небольших тектонически экранированных залежей вскрыты многими скважинами) и продолжающие способствовать дегазации недр этой территории.

При дешифрировании КС территории Юго-Западного Гисара ставилась вполне определенная задача — выявить закономерности распределения скоплений серы на Гаурдагском месторождении с целью поисков аналогичных участков.

Гаурдагский район выбран как пример зоны дегазации, в которой присутствие сероводородсодержащего газа устанавливается по скоплениям «газовой» серы. Приуроченность «узлов дробления» к сводовым частям антиклинальных структур — потенциальным ловушкам сероводородсодержащего газа — в значительной степени предопределяет их перспективность для поисков газовой серы, образующейся при дегазации месторождений углеводородов и проникновении сероводорода в зону аэрации. Обнаружение таких «узлов дробления» осуществляли на базе дешифрирования КС мелкого и среднего масштабов (рис. 23). Проверку этих положений производили на примере разрабатываемого Гаурдагского серного месторождения.

Ранее была установлена эпигенетичность серного оруденения и связь его с новейшей тектоникой. Регионально продуктивны здесь преимущественно карбонатные келловей-оксфордские отложения. Изменение емкостных свойств и проницаемости этих отложений в зависимости от степени нарушенности имеет важное значение для выявления участков разгрузки пластовых флюидов, которые в данных условиях перспективны на серу.

Гаурдаг-Тюбегатанская тектоническая зона, к которой относится и Гаурдагское поднятие, в современном контуре сформирована в послеолигоценное время, хотя не исключено ее более раннее (верхнеюрское) заложение. Рядом исследователей уста-

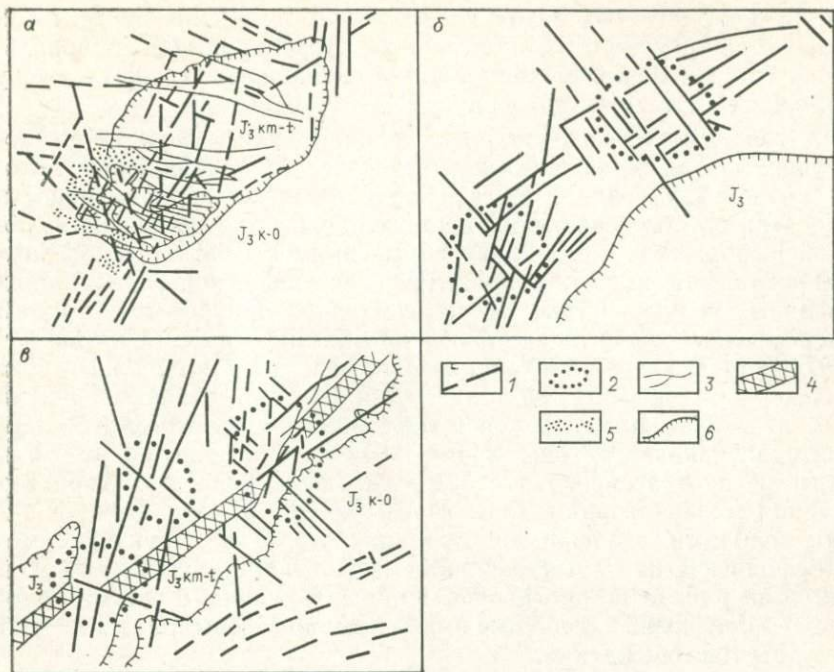


Рис. 23. Схема дешифрирования КС Гаурдагского (а), Маликского (б) и Кызыл-Булакского (в) участков района Гаурдагского месторождения «газовой» серы [4].

J — линейменты, соответствующие разломам; 2 — зоны пересечения линейментов разной ориентировки, индицирующие «узлы дробления»; 3 — разрывные нарушения (по И. С. Лазареву); 4 — продольные зоны концентрации «согласных» разломов; 5 — сероносные залежи Гаурдагского месторождения (схематически); 6 — контур орографически выраженных поднятия или впадины

новлена прямая связь серного оруденения с малоамплитудными разрывами сбросо-сдвигового характера. Рудное поле приурочено к обращенной в сторону регионального наклона пластов периклинали одноименной складки, с трех сторон ограниченной разрывными нарушениями. Образование основных тектонических форм и становление месторождения относится к началу четвертичного периода.

Результаты дешифрирования КС подтвердили приуроченность наиболее значительных скоплений серы к узлам пересечения разломов разных направлений («узлам дробления»). С этих позиций производился поиск на КС «узлов дробления», потенциально перспективных на серу. В районе исследования выявлено три таких участка (рис. 23, в). В пределах каждого участка дешифрованы зоны максимальной концентрации сбросо-сдвиговых нарушений, которые оцениваются как объекты первоочередного опискования. Кроме того, вблизи юго-западной перикли-

нали Гаурдагского поднятия располагается зона пересечения разломов трех систем — поперечной, продольной и меридиональной. Это позволяет предполагать наличие перспективных на серу площадей и вне пределов Гаурдагского поднятия.

Приведенные материалы по сопоставлению результатов, полученных при геолого-геофизических исследованиях, с результатами дешифрирования КС показали высокую информативность последних, обеспечивающую получение вполне достоверной новой информации, хотя приведенные примеры были «запрограммированы на удачу». В пределах Сернозаводской зоны как отдельные серные бугры, так и их группы приурочены к узлам пересечения относительно более древних широтных и субширотных разломов, не проникающих в послевержнеолигоценовый комплекс, с молодыми и, видимо, активными четвертичными разломами. Можно полагать, что в геологических условиях этой территории никакие методы, кроме космических, не позволят выделить и протрассировать столь «молодые» разломы. Характер серной минерализации, типы взаимоотношений ее с вмещающими породами, особенности строения бугров, их структурно-геоморфологическая выраженность и особенности геологической истории района не противоречат предположению о весьма позднем — послеранне-четвертичном — времени формирования этой группы месторождений.

На еще более детально изученном Гаурдагском поднятии и сопредельной территории использование КС позволило выделить в качестве поискового признака залежей газовой серы ряд узлов дробления, т. е. участков пересечения разновозрастных разрывных нарушений. Выявление в пределах окраин собственно Гаурдагского месторождения новой системы разломов позволяет предложить «линейный» (вдоль разломов) метод опознавания этого перспективного района. Эти разломы, а точнее — полосы концентрации мезотрещин, рассматриваются нами и как полосы повышенной флюидопроводимости, контролирующие региональное распространение сероводородсодержащих газов и кислородонасыщенных вод, что, собственно, и предопределяет локализацию в них залежей газовой серы.

Третий пример использования КС касается глубоко эродированного Султансанджарского вала, в своде которого обнажены сеноманские отложения. Активная дегазация недр этого вала привела к тому, что неоднократно проводившиеся здесь буровые работы показали отсутствие газовых залежей и лишь в некоторых тектонически ограниченных (экранированных) блоках вскрыли скопления нефти. Поэтому главной задачей здесь является выбор наиболее удачно расположенных блоков (относительно путей питания и каналов дегазации), перспективных для поисков нефтяных залежей. Объективно закартированная по КС система разнонаправленных разломов может явиться наиболее достоверной основой для решения этой задачи.

IV.3. ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗОН РАПОГАЗОНАСЫЩЕНИЯ В ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА¹

Многолетний опыт разведки и промышленного освоения подсолевых нефтегазоносных отложений в Средней Азии, Прикаспии и других районах показывает, что бурение скважин в мощных солевых (хемогенных) толщах над залежами газа и нефти и их дальнейшее строительство и эксплуатация нередко осложняются и даже становятся невозможными из-за рапогазопроявлений (высоконапорных фонтанов внутрисолевых рассолов, как правило, в смеси с газом), неустойчивости горных пород (сужения стволов скважин, смятия обсадных колонн) и других осложнений, вызванных агрессивными свойствами рапы.

Дебиты рапогазопроявлений варьируют от 3—5 м³/сут до 10 тыс. м³/сут и более, коэффициент аномальности давления достигает 2,3—2,4, а высокая концентрация в рапе хлоридов кальция и магния отрицательно влияет на свойства буровых и тампонажных растворов.

Очевидно, прогнозирование этих явлений во многом обеспечивает создание геологической основы проектирования систем и технологии бурения в газоносных районах с соленосными разрезами.

Литологические разрезы солевых толщ-покрышек всегда представлены чередованием преимущественно галита, ангидрита и в меньшей степени сильвинита, карналита, бишофита и др. Нередко в них содержатся примеси, линзы и пропластки терригенного материала, известняков и доломитов.

Матрица солевых пород, как правило, непроницаема, а локализация в них проницаемых объемов может контролироваться наложенной тектонической трещиноватостью. В зонах дробления солевой толщи, в отличие от условий монолитного ее залегания, формируется гидродинамически связанная система трещин, аккумулирующих рапу и пульсационно проникающий снизу природный газ. Такая система в условиях последующей всесторонней изоляции пластичными солями приобретает большой запас упругой энергии. Давление рапы достигает величин горного давления и вскрытие ее приводит к интенсивному выбросу газовой смеси. Если в солевой толще имеются значительные по размерам линзы терригенных или карбонатных порово-трещинных коллекторов, то и они могут образовать упругозамкнутые системы рапогазонасыщения.

По отношению к монолитной солевой толще зоны рапогазо-насыщения относительно разуплотнены, что в сочетании с двухфазным (рапа и газ) флюидонасыщением определяет специфические свойства, резко отличающие эти зоны от монолита солевых толщ.

¹ Текст раздела написан совместно с В. Н. Пашковским.

Установлено, что скорость распространения продольных упругих волн в зонах рапогазонасыщения снижается примерно в 2 раза (2500 против 4300—5000 м/с в монолите), увеличивается коэффициент поглощения волн и пр. Кажущееся электрическое сопротивление монолитных солевых толщ достигает 1500—2000 Ом·м, а в зонах рапогазонасыщения снижается на три порядка. Эти свойства зон рапогазонасыщения, по данным И. В. Кушнирова, В. Н. Пашковского и др., определяют принципиальную возможность прогнозирования их пространственного положения методами сейсморазведки и электроразведки.

На месторождениях Шуртан, Култак, Зеварды и других в газоносных районах Чарджоуской ступени выделены протяженные зоны ухудшения и потери корреляции внутрисолевых реперов сейсмической жесткости (в основном это пласты ангидрита). С этими же зонами связаны повышенные амплитудные поглощения, возникновение обменных волн, повышенная интервальная электропроводность солевой толщи (в некоторых случаях и интервальная электропроводность надсолевого разреза).

Поскольку эти аномалии геофизических полей связаны с зонами разуплотнения и вероятной аномальной флюидонасыщенностью солевой толщи, была сделана попытка оценить возможность трассирования таких зон по КС и другим материалам дистанционных съемок. Сопоставление результатов дешифрирования линеаментов с зонами, выявленными полевой геофизикой, показало удовлетворительное их совпадение. Особого внимания в свете поставленной задачи заслуживает Култакский и смежные с ним районы Чарджоуской ступени. Главная его особенность — аномально высокое пластовое давление (АВПД) в подсолевых отложениях карбонатной формации, а также многочисленные и самые высокодебитные в регионе рапогазопроявления в соленосной формации. В этом районе расположены газоконденсатные месторождения Култак, Зеварды, Памук, Алан, находящиеся в разработке, а также Капали, Бердыкудук, Омад, Кокдумалак и другие, разведка которых в настоящее время продолжается.

На КС рассматриваемой территории дешифрируется две категории фотообъектов: линейные — нескольких простираций и различной протяженности и изометричные — преимущественно округлые, различных размеров (рис. 24). Практически все линеаменты группируются по трем направлениям: северо-восточному, северо-западному и субширотному, т. е. образуют сеть, конформную абрису региональных разломов и нарушений фундамента, известных по геолого-геофизическим данным. Однако не все известные разломы (или их части) отображаются в линеаментной сети и, наоборот, не все отдешифрированные линеаменты трассируют уже известные разломы.

Среди региональных линеаментных систем субширотная заслуживает специального рассмотрения. Эта практически малоизвестная по геофизическим данным система представлена Юж-

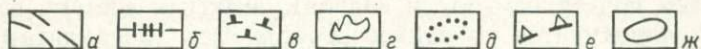
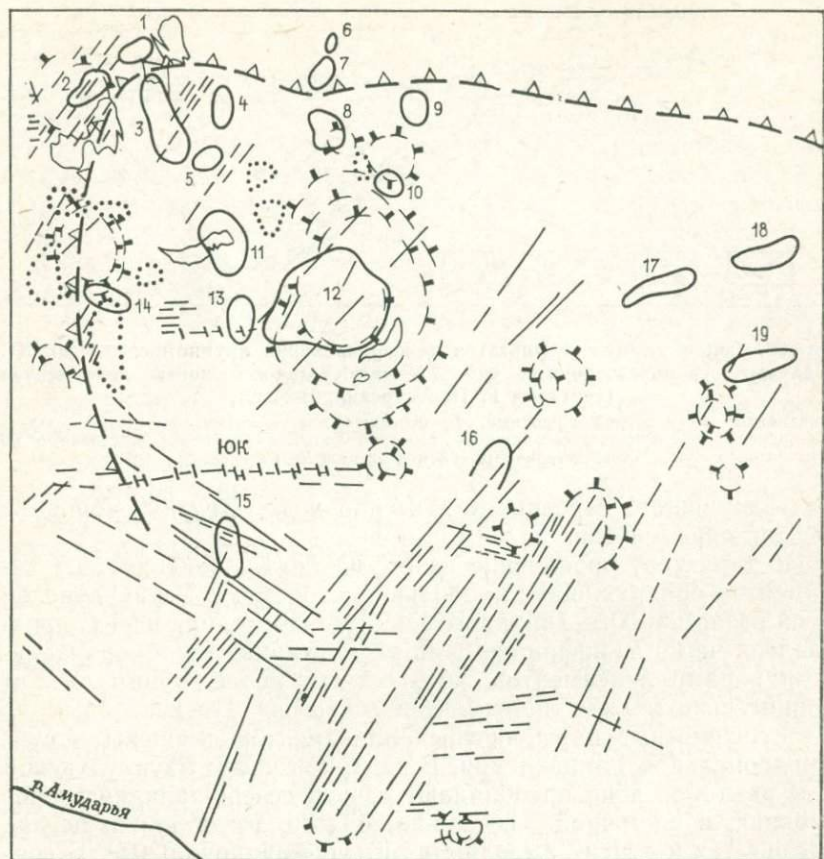


Рис. 24. Схема дешифрирования КС Култак-Зевардинского района (составили Г. И. Амурский, В. Н. Пашковский, Н. Н. Соловьев, В. А. Кузьминов, 1985 г.).

Элементы дешифрирования КС: а — основные линейменты; б — зоны линейментов клавишного строения (ЮК — Южно-Култакская зона); в — изометричные фотоаномалии (новейшие поднятия); г — бессточные впадины; д — локальные структуры и прогнозируемые по геофизическим данным рифовые массивы; е — внешняя граница зоны АВПД в подсолевом карбонатном комплексе верхней юры; ж — газовые и нефтегазовые месторождения: 1 — Марковское, 2 — Сардоб, 3 — Зеварды, 4 — Бердыкудук, 5 — Омад, 6 — Северный Памук, 7 — Центральный Памук, 8 — Южный Памук, 9 — Капали, 10 — Новый Алан, 11 — Алан, 12 — Култак, 13 — Западный Култак, 14 — Кокдумалак, 15 — Сундукли, 16 — Гирсан, 17 — Камаши, 18 — Бешкент, 19 — Северный Нишан

но-Култакской зоной (рис. 25). По материалам сейсморазведки на уровне верхнеюрских отложений она выражена в виде парной системы простых нарушений. По материалам дешифрирования КС Южно-Култакская система образована совокупностью сравнительно коротких линейментов, смещенных один относительно другого по многочисленным мелким диагональным сдвигам. Та-

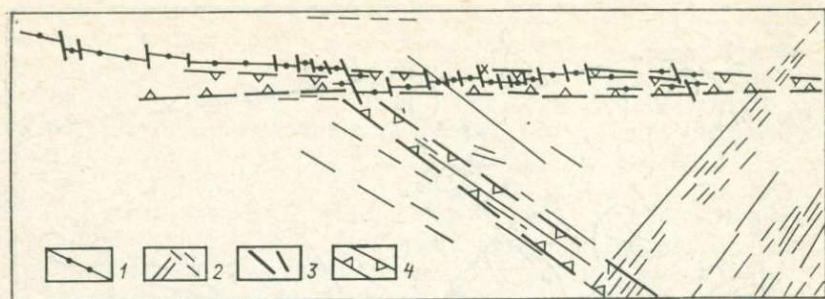


Рис. 25. Сопоставление результатов дешифрирования крупномасштабных КС и данных сейсморазведочных работ Южно-Култакской зоны линеаментов (составил Г. И. Амурский, 1984 г.).

Линеаменты: 1 — основной широтный, 2 — основные диагональные, 3 — мелкие сдвиговой природы, образующие «клавишное» строение зоны; 4 — грабены, выделенные по материалам сейсморазведки МОГТ

кое «клавишное» строение характерно и для других субширотных зон линеаментов.

По характеру проявления на КС Южно-Култакская зона линеаментов обнаруживает наибольшее сходство с Узункудукской зоной разломов Юго-Западного Гиссара. Последняя на КС представлена четко дешифрируемыми элементарными субпараллельными парами линеаментов, косо секущимися большим числом сравнительно мелких линеаментов (сдвигов). По некоторым из них субширотные пары частных линеаментов смещены в субмеридиональном направлении. В западной части Узункудукской зоны разломов явно преобладают сдвиги северо-западного простираения, в восточной — северо-восточного, тогда как в центре на фоне тех и других выделяются и субмеридиональные. В связи с этим подчеркиваем, что и Южно-Култакская система субширотных линеаментов на западе пересекается линеаменами северо-западного простираения (параллельными Амударьинской зоне разломов), а на востоке — линеаменами северо-восточного простираения (параллельными Керки-Лянгарской системе надвигов). Сходные черты строения Узункудукской и Южно-Култакской зон разломов указывают на общность поля тектонических напряжений, в котором эти разломы формировались. Это позволяет использовать данные об особенностях строения хорошо изученной и открытой на поверхности Узункудукской зоны разломов для интерпретации линеаментов Южно-Култакской зоны.

Среди линеаментов иных простираений на КС чаще дешифрируются системы северо-восточной ориентировки. Некоторые из составляющих их частных элементов прослеживаются на месторождениях (Зеварды, Марковское, Сардоб и др.). Чаще же системы линеаментов (мезотрещиноватости) этого направления распространены в межструктурных понижениях подсолевого ложа.

Особенность фотоизображения рассматриваемой территории — весьма четко выраженная линейная полосчатость северо-северо-западного направления — своеобразный «линеamentный фон» (на рис. 25 он не показан из-за сложности воспроизведения). Его образуют многочисленные системы сближенных линеаментов разной протяженности (от 1—2 до 10—15 км). Все они имеют выдержанную ориентировку на большом расстоянии, сохраняющуюся при пересечении с линеаментами других направлений и в ареалах локальных структур или отдешифрованных концентров. Однако на большинстве известных локальных структур (месторождений) «линеamentный фон» либо вообще исчезает, либо резко уменьшается плотность составляющих его частных элементов. Аналогичная потеря «линеamentного фона» происходит и в пределах выделенных на КС изометричных объектов (в том числе бессточных впадин).

Геологическая природа «линеamentного фона» остается неясной. Можно лишь предположить, что он отражает особенности проявления динамики субсовременного регионального поля напряжений в структуре осадочного чехла, в том числе в покровных отложениях. Тогда его потеря в ареалах положительных локальных структур, особенно активно доформировывающихся на современном этапе, может быть связана с наложением на региональный фон локальных (соскладчатых) полей напряжений. В этом случае отсутствие или прерывистость «линеamentного фона» можно использовать как поисковый признак погребенных локальных структур и новейших (растущих) поднятий.

Среди отдешифрованных объектов изометричной формы, как и в пределах сопредельной Денгизкульской зоны газонакопления [5], на КС выделяются фотоаномалии, представленные сериями (иногда единичными) концентров, и контуры бессточных впадин. Наиболее крупная фотоаномалия — Култакский концентр, в плане совпадающий с антиклинальным поднятием в меловых отложениях.

На картах новейшей тектоники район Култакского месторождения характеризуется максимальной суммарной амплитудой положительных движений. Этот факт подчеркивает возможность возникновения изометричной фотоаномалии в связи с формированием так называемых геодинамически активных центров в земной коре (по В. Ю. Зайченко, О. Л. Кузнецову, Г. П. Попсуй-Шапко) и позволяет допускать деформационно-волновой механизм отображения растущего (новейшего) поднятия на КС (Г. И. Амурский, Н. Н. Соловьев, 1982 г.).

На территории Чарджоуской ступени в Западном Узбекистане основными ловушками газа (нефти) в верхнеюрских карбонатах служат высокопористые органогенные тела (риффы, биогермы). В плане они часто не совпадают со сводами локальных структур в меловых отложениях и как бы смещены к периферии последних. В объеме карбонатной толщи юры массивы высокоемких коллекторов, как правило, гидравлически разобщены сла-

бопроницаемыми сульфатно-галогенными и плотными карбонатными породами, выполняющими достаточно глубокие «межрифовые проливы». Вместе с тем во многих разведочных скважинах при опробовании таких пород фиксировались незначительные газопроявления и довольно частые нефтепроявления (нефтенасыщенный керн, слабые притоки нефти, пленки нефти в промывочной жидкости). Эти факты свидетельствуют о том, что, если не сейчас, то по крайней мере в недалеком геологическом прошлом, они обладали проницаемостью, обеспечивающей миграцию флюидов. В связи с этим еще раз подчеркнем, что дешифрируемые на КС системы линеаментов (мезотрещиноватости) гораздо чаще тяготеют именно к «межрифовым» зонам. Характерно, что выделяемые по материалам сейсморазведки зоны разуплотнения (дробления, трещиноватости, рапонасыщения) в эвапоритовой толще довольно равномерно покрывают всю рассматриваемую территорию.

Первоначальный абрис размещения зон разуплотнения по геофизическим материалам был получен в результате интерполяции данных по отдельным сейсмическим профилям, дополненных сведениями о рапопроявлениях в скважинах. В результате их изображение на схеме приобрело весьма причудливый неупорядоченный характер. Это не позволяло сколько-нибудь уверенно увязать полученную схему распределения установленных и прогнозируемых зон рапопроявлений с конкретной геогазодинамической ситуацией рассматриваемой территории Амударьинского нефтегазозносного бассейна. Лишь в некоторых случаях довольно уверенно установлено, что зоны разуплотнения внутрисолевых ангидритов в плане как бы окаймляют, реже пересекают выявленные газозносные поля, связанные с крупными рифогенными постройками (месторождения Зеварды, Алан, Памук и др.).

Сопоставление материалов сейсмического картирования установленных и прогнозируемых зон высоконапорного рапопроявления в соляно-ангидритовой толще с результатами дешифрирования КС показало:

ряд участков зон рапопроявлений приурочен к отдешифрированным зонам линеаментов;

участки зон рапопроявлений совпадают с отдельными элементами отдешифрированных концентров;

интерполяция данных сейсморазведки (в основном в межструктурных зонах) может быть приведена в соответствие с результатами дешифрирования КС.

Геосейсмические модели поглощения упругих волн и данные глубокого бурения показывают, что зоны разуплотнения в соляно-ангидритовой толще, вмещающие высоконапорную газонасыщенную рапу, иногда распространяются в подстилающие отложения карбонатной формации на большие глубины. Это позволяет предполагать, что в эвапоритовой толще существовали (а в некоторых случаях существуют и донныне) субвертикальные флюидоводы, обеспечивающие не только миграцию газа (нефти)

к ловушкам, но и проникновение флюидов в солевую толщу. Последнему могли способствовать процессы активного выщелачивания солевых пород, слагающих ее нижние горизонты.

Описанная схема фильтрационной макроструктуры эвапоритовой толщи верхней юры подтверждается результатами опытно-методических геотермических работ, проведенных В. В. Бабаевым и др. в 1985 г. В частности, на месторождении Култак (на глубине 1,5 м) сравнительно монотонное распределение температуры над биогермами в карбонатной толще юры в «межрифовых» зонах сменяется заметно дифференцированным. Последнее может быть связано с конвективным выносом тепла флюидами в зонах разуплотнения эвапоритовой толщи в перекрывающие отложения. На возможную частичную импульсно-прерывистую разгрузку зон АВПД в солевой толще в перекрывающие отложения косвенно указывают установленные факты снижения общего уровня кажущегося электрического сопротивления последних над зонами рапогазопроявлений.

Указанные особенности распределения высоконапорных зон рапогазопроявления в соляно-ангидритовой толще, залежей газа с АВПД в подстилающих карбонатах и признаки проявления их в геофизических полях обнаруживают большую роль геодинамических (тектонодинамических) факторов в формировании аномалий такого типа. В условиях нелинейного поля тектонических напряжений при активном проявлении его горизонтальной составляющей в земной коре периодически формируются сопряженные зоны динамического уплотнения (переуплотнения) и разуплотнения нефтегазоводонасыщенных горных пород. В первых формируются положительные, во вторых отрицательные гидродинамические аномалии. Возникновение «местных» дополнительных перепадов давлений жидкости стимулирует усиление массообмена, в реализации которого, по данным А. Е. Гуревича, важная роль может принадлежать пьезоконвективному эффекту инъекции газа. Причем в ареалах геодинамически активных зон дизъюнктивно-деформационного разуплотнения пород, в частности под влиянием сейсмотектонических процессов, как считают В. В. Иванов, Е. В. Карус, О. Л. Кузнецов и др., реализуются разнообразные термо-, гидро- и электродинамические эффекты, сопровождающие и усиливающие тепло- и массоперенос.

Совместная интерпретация результатов дешифрирования КС и материалов геолого-геофизических исследований позволяет предложить уточненную модель формирования различных по условиям нахождения и форме проявления зон АВПД в процессе реализации региональных процессов газонакопления в подсолевом этаже Чарджоуской ступени. Основные источники газа, обеспечившие промышленное газонакопление, сосредоточены в угленосно-терригенных и частично карбонатных отложениях юры. Многочисленные данные по геологии и нефтегазоносности Амударьинского нефтегазоносного бассейна показывают, что в его эволюции решающее значение принадлежит новейшему этапу.

Очевидно, что возникновение указанной зоны АВПД в ее современных границах может быть ограничено еще более узким и наиболее поздним временным интервалом — субсовременным. Такковы основные исходные посылки, необходимые для дальнейшего анализа и разделяемые большинством исследователей региона.

Рассматриваемая территория, по-видимому, занимает оптимальное положение для формирования залежей газа с АВПД по следующим причинам. Во-первых, она тяготеет к области новейшей активизации тектонических движений (Юго-Западный Гиссар), благодаря которым подземная гидросфера была выведена из пассивного равновесия и периодически могла быть «деформирована» до состояния, при котором упругий запас энергии флюидов определялся местами напряженным состоянием вмещающих горных пород. Во-вторых, она входит в состав платформы, на которой вертикальная проницаемость осадочного чехла не столь высока, как в Юго-Западном Гиссаре и сопредельных с ним районах.

Новейшие тектонические движения периодически создавали и видоизменяли разветвленную систему зон разуплотнения горных пород в объеме эвапоритовой толщи. Система была образована зонами наложенной тектонической трещиноватости (реже отдельными дизъюнктивами) в сочетании с зонами подземного выщелачивания (особенно в солях и ангидридах вблизи их контакта с проницаемыми карбонатами) и активного проявления других вторичных процессов (доломитизация, перекристаллизация и др.). Эти процессы и обеспеченная ими фильтрационная макроструктура в объеме чрезвычайно анизотропной по петрофизическим характеристикам композиции юрских пород усиливали возможность организации непрерывной газовой фазы и миграции газа к ловушкам, примыкающим к зонам разуплотнения, и его импульсное проникновение совместно с пластовыми водами в солевую толщу.

Для формирования избыточного давления в гидравлической системе необходимо, чтобы количество поступающего в нее флюида превосходило величину его оттока за пределы системы. Для формирования газовых скоплений в ловушках, занятых нефтью и (или) водой, необходим отток жидкости за пределы системы. Поэтому в самом общем виде возникновение, пространственное положение и функционирование фильтрационной макроструктуры в объеме эвапоритовой толщи юры в ареалах газовых месторождений с АВПД могут быть аппроксимированы следующей моделью.

При тектонической активизации, обуславливающей (или усиливающей) динамическую дифференциацию механических и петрофизических характеристик горных пород, происходит формирование в них линейных, дуговых, иногда очаговых зон концентрации (стягивания) дефектов. В экстремальных условиях этот процесс завершается возникновением магистральных дизъюнкти-

вов, чаще же прекращается на этапе фиксированного разуплотнения пород, выраженного появлением либо мозаичных зон микротрещиноватости, либо ориентированных систем мезотрещиноватости. В карбонатной толще они как зоны повышенной флюидопроводимости могут существовать достаточно долго и после прекращения действия причины их образования. В солевой толще, напротив, их сколько-нибудь длительное функционирование становится возможным только тогда, когда разуплотнение пород поддерживается высоким избыточным давлением флюидов. При этом очень важное значение приобретает подземное выщелачивание солей, которое приводит к следующим изменениям флюидной и вмещающей ее твердой фаз: усиливает пустотность и сообщаемость первичных каналов деформационного разуплотнения (микротрещин); повышает плотностную дифференциацию пластовых рассолов в зоне контакта карбонатной и солевой толщ; снижает газорастворяющую способность пластовых рассолов. В целом вверх по разрезу соляно-ангидритовой толщи активность процессов выщелачивания заметно убывает и на уровне верхних солей уже насыщенные рассолы в основном теряют способность к растворению твердой фазы. Благодаря этому пачка верхних солей при прочих равных условиях обладает лучшими флюидоупорными свойствами.

В совокупности охарактеризованные выше преобразования системы, включающей деформирующиеся при многократном-постоянной тектонической активности горные породы и насыщающие их различные по сжимаемости флюиды (рассолы разной плотности, углеводородные газы), вызывают ее весьма существенную дестабилизацию, что уже само по себе способно инициировать массообмен. При этом при тектонической деформации чрезвычайно разнообразных по механическим свойствам пород в эвапоритовой толще возникают сопряженные участки и зоны разуплотнения (например, при формировании микро- и мезотрещиноватости) и «переуплотнения», т. е. зоны с пониженным и повышенным гидродинамическим потенциалом. Присутствие во флюидной фазе сжимаемого природного газа, способного в зависимости от вариаций давления и минерализации пластовых рассолов менять форму нахождения (растворенный, свободный), резко повышает упругий запас флюидной фазы и его дифференциацию в объеме системы при изменении напряженного состояния горных пород с переменными по объему градиентами.

В процессе активного новейшего формирования газовых залежей в ловушках верхнеюрского карбонатного резервуара в субвертикальных зонах дробления при импульсном снижении пластового давления могут возникать «неразрывные шлейфы» свободного газа, пронизывающие почти всю солевую толщу.

Мы полагаем, что активные восходящие потоки высоконапорных флюидов перемещались в основном по зонам разуплотнения (в ареалах систем мезотрещиноватости) новейшей генерации. Многие из таких зон дешифрируются на КС. Отток избы-

точных флюидов из солевой толщи осуществляется преимущественно по зонам трещиноватости более ранних генераций. Причем периодическое пассивное раскрытие трещинных каналов в таких зонах было связано с нисходящей инъекцией самих флюидов (автогидроразрыв). В Култакском районе активная восходящая миграция флюидов при формировании зон АВПД в эвапоритовой толще могла протекать в основном вдоль его южной периферии, в полосе, сопряженной с известной по геолого-геофизическим данным Амударьинской зоной разломов. Здесь на КС однозначно трассируются две (северо-восточная и северо-западная) сходящиеся системы линеаментов (см. рис. 24, 25), отражающие линейные зоны мезотрещиноватости. Проникновение флюидов в солевую толщу было возможно также в ореолах концентров (в том числе крупнейшего, Култакского).

Разгрузка системы происходила преимущественно вдоль внешней северной окраины Култакского района. Обращает внимание сравнительно небольшая ширина этой полосы (5—10 км), за которой АВПД уже не наблюдается. К ее внешней по отношению к Култакскому району границе примыкают месторождения Сардоб, Марковское, Пирназар, Центральный Памук, характеризующиеся нормальным давлением в залежах. В области АВПД значимых проявлений нефти не установлено. Низкое давление начала конденсации, характерное для месторождений района, также свидетельствует об исключительно интенсивном поступлении газа в объемах, превышающих «нормальную» приемистость системы с жестким скелетом, что могло обеспечить свободное оттеснение нефти, воды и «излишков» газа согласно теории дифференциального улавливания нефти и газа.

Следует отметить, что раскрытость трещин в плотных разностях известняков карбонатной формации, а также ангидритов солевой формации в зоне АВПД, безусловно, остается высокой. Не исключено, что процессы флюидообмена внутри этой области и оттока за ее пределы в настоящее время продолжают. Зона АВПД распространяется на восток от месторождений Памук и Култак в пределы Бешкентского прогиба. Ее восточная граница проходит западнее Шуртанской группы месторождений, где аномальность пластового давления не превышает 1,3—1,4, что позволяет отнести Шуртанскую зону к категории «переходных» от зон с АВПД к зонам с нормальным гидростатическим давлением. По-видимому, условия возбуждения подземной гидросферы и газонакопления в районе Бешкентского прогиба идентичны рассмотренным выше, однако условия сохранности АВПД из-за более высокой тектонической мобильности здесь менее благоприятны.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Использование материалов дистанционных съемок обнаружило возможность конкретного построения модели фильтрационной макроструктуры и природы аномального флюидонасыщения солевой толщи. Особенно важно то, что форма зон ра-

погазонасыщения в соляно-ангидритовой толще контролируется элементами каркаса линейных и дугообразных систем тектонических деформаций.

2. При прогнозировании и трассировании рапоопасных зон использование КС может существенно дополнить и уточнить информацию о пространственной локализации рапы, получаемую с помощью геолого-геофизических материалов. Показательно, что при этом может быть получена информация и для межструктурных участков, в пределах которых плотность сейсмического профилирования весьма низка.

3. Перспективный прогноз рапоопасных зон носит вероятностный характер, однако очевидно и то, что вероятность вскрытия рапы именно в пределах дешифрируемых на КС зон разуплотнения (мезотрещиноватости) наиболее высока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования Земли из космоса открывают принципиально новые возможности изучения трещиноватости осадочных толщ нефтегазоносных бассейнов путем дешифрирования на космических снимках и последующего изучения сети линеаментов, что определяется особыми, специфическими свойствами КС: разномасштабностью, обзорностью, явлениями естественной генерализации и просвечивания, возможностью получения разнозональных, одновременных и специальных снимков.

Линеаменты отражают активизированные новейшими тектоническими движениями разрывные дислокации разного ранга, времени и глубины заложения, а поле линеаментов — динамику напряженного состояния земной коры. В породах осадочного чехла платформ разрывные дислокации представлены, как правило, малоконтрастными формами — зонами малоамплитудных или даже почти безамплитудных дизъюнктивов.

Информация, запечатленная на материалах дистанционных съемок в виде линеаментов, не полностью сопоставима с информацией, поставляемой традиционными методами — геофизическими и бурением. В то же время с МДС можно получать такие данные, использование которых позволяет решать задачи, обычно недоступные для традиционных геолого-геофизических методов. В частности, наличие разномасштабных материалов дистанционных съемок позволяет проводить комплексное изучение иерархии трещин земной коры разного ранга от трещиноватости горных пород, наблюдаемой на ограниченных участках в керне и обнажениях, до сети линейных разрывных структур обширных территорий.

Установлена возможность и целесообразность использования линеаментного анализа на всех этапах работ на нефть и газ — региональном, поисковом, разведочном и эксплуатационном.

Перспективы и возможности использования линеаментного анализа МДС при изучении нефтегазоносных территорий определяются следующими наиболее важными предпосылками:

линеаменты как важнейшая категория элементов дешифрирования относятся к числу наиболее уверенно и однозначно опознаваемых объектов на МДС любого типа и масштаба;

большинство линеаментов, обнаруженных на МДС, является поверхностным выражением тектонической делимости горных пород трещинами разного масштаба;

тектонодинамическая дезинтеграция пород, приводящая к формированию и (или) периодическому оживлению линейных зон дробления и разуплотнения, в большинстве случаев сопровождается возникновением разнообразных геофизических, геохимических, гидродинамических аномалий в подземной гидросфере, локализующихся вдоль зон линеаментов;

функционирование разномасштабных трещин, их зон и систем играет весьма важную роль в дестабилизации подземной гидросферы и интенсификации энерго- и массообмена в региональных нефтегазонасных системах, оказывающих непосредственное влияние на формирование и строение нефтяных и газовых месторождений.

Поэтому линеаментный анализ МДС с привлечением материалов традиционных геолого-геофизических исследований позволяет получить новую дополнительную информацию о свойствах нефтегазосодержащих объектов на разных этапах их изучения.

Результаты дешифрирования КС нефтегазонасных территорий в СССР и за рубежом обычно используют при регионально-поисковых исследованиях: для уточнения и анализа схем нефтегеологического районирования, построения региональных карт разломов, прогнозирования погребенных локальных структур и т. д. Значительно реже делаются попытки непосредственного изучения конкретных объектов нефтяных и газовых месторождений с целью решения задач их разведки и разработки. Проведенные исследования, в частности, имели целью показать принципиальную возможность постановки и реализации таких задач на примере отдельных месторождений и нефтегазонасных районов СССР.

Особого внимания заслуживают зоны мезотрещиноватости — наложенные зоны тектонодинамического разуплотнения горных пород, проявляющиеся на КС в виде упорядоченных зон сгущения линеаментов. Использование результатов изучения зон мезотрещиноватости перспективно при решении многих вопросов геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений:

изучении процессов вертикальной и латеральной миграции и формирования месторождений УВ;

прогнозировании месторождений в зонах дробления и тектонически экранированных залежей;

построении «дизъюнктивных» вариантов структурных карт продуктивных пластов;

выявлении зон тектонического разуплотнения пород, особенно нефтегазосодержащих; последнее имеет большое значение для оценки условий массопереноса, выбора привилегированных путей фильтрации, регулирования процессов законтурного и внутриконтурного обводнения.

Выполненные исследования выявили довольно широкий круг практически важных задач, в решении которых оказались полезными результаты дешифрирования МДС. Анализ фильтрационной анизотропии природных резервуаров на Вуктыльском, Даулетабад-Донмезском и ряде других месторождений определил наиболее вероятные пути локализованного обводнения залежей газа в процессе разработки. При реконструкции условий вертикальной гидравлической сообщаемости разновозрастных горизонтов на Даулетабад-Донмезском месторождении было уста-

новлено пространственное положение источника сероводорода в юго-восточной части основного продуктивного пласта. При проникновении сероводородсодержащих флюидов в зоны аэрации при прочих благоприятных условиях происходит формирование серной минерализации. Поэтому изучение по КС серных бугров Центральнокаракумского свода и Гаурдагского месторождения серы, связанных с зонами дробления и дегазации недр, послужило основой для прогнозирования скоплений серы и ряда других полезных ископаемых, являющихся продуктами разрушения месторождений углеводородов. Результаты трассирования зон разуплотнения в эвапоритовой толще верхней юры Западного Узбекистана позволили приступить к созданию модели формирования зон высоконапорного рапогазонасыщения. Это позволит в будущем избежать аварий скважин на месторождениях с газорапопроявлениями.

Накопленный опыт целевого дешифрирования КС нефтегазоносных объектов обнаружил возможность получения практически полезной новой информации об их строении на всех этапах изучения. Однако эта информация может дать действительно положительные результаты только при обязательном учете конкретной геологической ситуации и в комплексе с материалами традиционных геолого-геофизических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А. А., Медведев Н. Ф., Серебрякова Е. С. Поиски нефти в отложениях терригенного девона Восточно-Оренбургского структурного выступа.— Геология нефти и газа, 1982, № 7, с. 6—9.
2. Амурский Г. И., Абраменок Г. А., Соловьев Н. Н. Анализ мезотрещиноватости по космическим снимкам — актуальное направление изучения нефтяных и газовых месторождений.— Исследование Земли из космоса, 1984, № 6, с. 36—41.
3. Амурский Г. И., Бондарева М. С. Использование космических снимков Земли при изучении строения зон дегазации нефтегазоносных бассейнов.— Исследование Земли из космоса, 1981, № 3, с. 5—10.
4. Амурский Г. И., Бондарева М. С. Об использовании космической информации при изучении нефтяных и газовых месторождений.— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1985, № 3, с. 28—34.
5. Амурский Г. И., Соловьев Н. Н., Кузьминов В. А. Новые методы реконструкции условий новейшей дифференциации нефти и газа в Амударьинском бассейне (по результатам дешифрирования космических снимков).— Изв. АН СССР. Сер. геологич., 1984, № 8, с. 112—122.
6. Арабаджи М. С., Варламов В. Г., Мильничук В. С. Выделение глубинных разломов в фундаменте Прикаспийской синеклизы по космическим снимкам и анализу современных вертикальных движений.— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1983, № 8, с. 54—59.
7. Аристархова Л. Б. Роль геоморфологического критерия при выявлении разломов глубокого заложения в «закрытых» платформенных регионах (на примере Прикаспийской впадины).— Геоморфология, 1981, № 1, с. 41—50.
8. *Аэрокосмические* и геолого-геофизические исследования закрытых платформенных территорий/Д. М. Трофимов, В. А. Богословский, Е. Б. Ильина и др. М., Недра, 1986.
9. Башилов В. И. Линеаменты Печорской и Мезенской впадин.— Труды ВНИГНИ, т. 232, 1981, с. 85—95.
10. Брюханов В. Н., Буш В. А., Ставцев А. Л. Космофотогеологическое картирование как один из ведущих методов выявления линейной структуры земной коры.— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1982, № 3, с. 3—7.
11. Буш В. А. Системы трансконтинентальных линеаментов Евразии.— Геотектоника, 1983, № 3, с. 15—31.
12. Буш В. А., Яхимович Н. Н., Терехов В. И. О возможном происхождении кольцевых структур закрытых районов (на примере Оренбургской области и прилегающих территорий).— Исследование Земли из космоса, 1983, № 2, с. 5—13.
13. Волчегурский Л. Ф., Пронин В. Г. Применение космических материалов для изучения структурных особенностей Прикаспийской нефтегазоносной провинции.— Исследования Земли из космоса, 1981, № 4, с. 32—38.
14. Воробьев В. И., Оруджева Д. С. Использование космической информации при нефтегазопосковых работах (на примере Южного Мангышлака).— Исследование Земли из космоса, 1984, № 3, с. 33—38.
15. *Геологическое* изучение Земли из космоса.— Труды ГИН АН СССР, вып. 317, 1978.
16. *Геофизические* исследования при интерпретации космических снимков на Курском полигоне/В. А. Богословский, Е. Б. Ильина, О. Т. Кроткова и др.— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1978, № 10, с. 135—140.
17. Гоникберг В. Е. Использование космических снимков для реконструкции новейшего поля тектонических напряжений.— Исследование Земли из космоса, 1983, № 6, с. 39—51.
18. *Дистанционное* зондирование для поисков нефти и газа/Г. И. Амурский, С. М. Богородский, П. В. Флоренский и др.— В кн.: Дистанционное зондирование. Доклады на 27-м Междунар. геол. конгрессе, т. 18. М., Наука, 1984, с. 56—66.

19. *Изучение тектоники нефтегазоносных областей с использованием космических снимков*/Г. И. Амурский, М. С. Бондарев, Я. Г. Кац и др. М., Недра, 1985.

20. *Использование материалов космических съемок при региональных геологических исследованиях (методические рекомендации)*. М., изд. Мингео, 1985.

21. *Капустин И. Н., Пржиялговский Е. С., Трофимов Д. М.* Применение космической информации при составлении тектонической карты Прикаспийской впадины и ее обрамления. Статья II. Проблемы многоуровневой геологической интерпретации.—Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1982, № 3, с. 36—44.

22. *Кац Я. Г., Полетаев А. И., Румянцева Э. Ф.* Основы линейментной тектоники. М., Недра, 1986.

23. *Копыстанский Р. С.* Трещиноватость горных пород и ее значение в нефтегазовой геологии (на примере Карпатского региона). Киев, Наукова Думка, 1978.

24. *Космическая информация в геологии*. Под ред. В. Г. Трифонова, В. И. Макарова, Ю. Г. Сафонова, П. В. Флоренского. М., Наука, 1985.

25. *Космогеологическая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000 (принципы составления и информативность)*/В. Н. Брюханов, Н. В. Межеловский, В. А. Буш и др.—В кн.: Дистанционное зондирование. Доклады на 27-м Междунар. геол. конгрессе, т. 18. М., Наука, 1984, с. 7—18.

26. *Кукушкин Д. А., Ян Г. Х.* Некоторые вопросы методики анализа линейментов (по данным дешифрирования космических снимков).—Исследования Земли из космоса, 1983, № 1, с. 51—56.

27. *Ласточкин А. Н.* Неотектонические движения и размещение залежей нефти и газа.—Труды ВНИГРИ, Л., вып. 327, 1974.

28. *Лобацкая Р. М.* Ранговая классификация разрывных нарушений.—Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1984, № 4, с. 9—14.

29. *Макаров В. И.* Линейменты (проблемы и направления исследований с помощью аэрокосмических средств и методов).—Исследования Земли из космоса, 1981, № 4, с. 109—115.

30. *Макаров В. И.* О методологических основах геологического дешифрирования космических снимков.—Изв. АН СССР. Сер. геологич., 1981, № 2, с. 118—131.

31. *Макаров В. И., Соловьева Л. И.* Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туранской плиты).—В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология, т. V. М., изд. АН СССР, 1976, с. 18—41.

32. *Макаров В. И., Стрельников С. И.* Некоторые общие вопросы методики и результаты изучения линейментов и кольцевых образований территории СССР.—Исследование Земли из космоса, 1982, № 2, с. 60—69.

33. *Морфоструктурные методы изучения тектоники закрытых платформенных нефтегазоносных областей*/И. Г. Гольбрайх, В. В. Забалуев, А. Н. Ласточкин и др. Л., Недра, 1968.

34. *Наумкин А. Н.* Линейменты, выделяемые на телекосмических изображениях Средней Сибири, их возможная геологическая природа.—Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1982, № 3, с. 30—35.

35. *Перспективы нефтегазоносности восточного продолжения Аджаро-Триалетской складчатой системы*/В. Е. Орел, Г. П. Ованесов, А. Н. Шарданов и др.—Геология нефти и газа, 1985, № 4, с. 25—28.

36. *Петров С. Е., Пржиялговский Е. С.* Комплексная интерпретация аэрокосмических и геолого-геофизических материалов для уточнения структуры поверхности фундамента северо-восточной части Прикаспийской впадины.—Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1981, № 1, с. 31—35.

37. *Попков В. И., Праздников А. В., Тимурзиев А. И.* Новейшая разломная тектоника Мангышлака.—Докл. АН СССР, 1981, т. 261, № 1, с. 165—168.

38. *Расцветаев Л. М.* О геологической природе линеаментов, выявляемых на космических изображениях Земли (на примере Кавказа).— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1974, № 12, с. 58—66.

39. *Результаты комплексных аэрокосмогеологических и нефтегазопонсковых работ на территории Пермского Прикамья/А. А. Аксенов, В. Г. Гацков, Ю. А. Дулепов и др.*— Геология нефти и газа, 1983, № 11, с. 1—7.

40. *Розанов Л. Н.* Геодинамический подход к дешифрированию космоснимков при решении задач нефтегазовой геологии.— Геология нефти и газа, 1982, № 6, с. 39—42.

41. *Розанов Л. Н.* Особенности отображения тектонических разломов на снимках из космоса.— Исследование Земли из космоса, 1980, № 3, с. 98—100.

42. *Соколов Б. А.* Особенности строения и нефтегазоносности Степного Крыма по анализу космоснимков.— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1981, № 3, с. 127—129.

43. *Соловьева Л. И., Бурлакова Г. С., Посошкова Н. С.* Материалы космической съемки, используемые при изучении нефтегазоносности Западно-Сибирской провинции.— Труды ВНИГНИ, М., вып. 232, 1981, с. 33—55.

44. *Тевелев А. В.* Особенности применения космической информации для нефтепрогнозного районирования Памиро-Алая.— Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1985, № 3, с. 40—46.

45. *Тимурзиев А. И.* Результаты применения анализа зон разломов на Мангышлаке (на примере Песчаномыско-Ракушечной зоны).— Изв. АН КазССР, Сер. геологич., 1984, № 3, с. 78—81.

46. *Формирование Даулетабад-Донмезского газового месторождения (тектонодинамическая модель геологической основы разработки)/Г. И. Амурский, И. П. Жабров, Н. Н. Соловьев, З. Б. Хуснутдинов*— Советская геология, 1984, № 3, с. 11—21.

47. *Хныкин В. И., Колодий Н. В.* Использование материалов дистанционных съемок при поисках углеводородов в условиях Керченского полуострова.— Исследование Земли из космоса, 1984, № 2, с. 55—59.

48. *Штенгелов Е. С.* Зоны новейшего и современного растяжения континентальной коры.— Изв. АН СССР. Сер. геологич., 1980, № 6, с. 5—19.

49. *Шульц С. С.* Планетарная трещиноватость (основные положения).— В кн.: Планетарная трещиноватость. Л., изд. ЛГУ, 1973, с. 5—37.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 5 |
| I. Линеamentная трещиноватость земной коры | 9 |
| I.1. Определение понятия и свойства линеаментов | 9 |
| I.2. Линеаменты на материалах дистанционных съемок | 13 |
| I.3. Геологическая природа линеаментов | 25 |
| II. Пути и методы изучения линеamentной трещиноватости при нефтегазогеологических исследованиях | 45 |
| II.1. Направления и этапность линеamentного анализа | 48 |
| II.2. Линеamentный анализ при региональных исследованиях | 51 |
| II.3. Линеamentный анализ при поисковых работах | 63 |
| III. Линеamentные зоны трещиноватости в нефтегазоносных бассейнах и на месторождениях нефти и газа | 72 |
| III.1. Теоретические аспекты тектонодинамической интерпретации результатов дешифрирования космических снимков нефтегазоносных районов | 74 |
| III.2. Методы анализа геолого-геофизических и промысловых данных с целью выявления зон трещиноватости в комплексе с дистанционными исследованиями | 81 |
| III.3. Зоны мезотрещиноватости — особая категория линеamentных структур | 90 |
| III.4. Выделение зон мезотрещиноватости на космических снимках и их изучение на уровне продуктивного пласта | 101 |
| IV. Основные направления использования дистанционных методов изучения зон мезотрещиноватости на месторождениях нефти и газа | 109 |
| IV.1. Использование дистанционных методов изучения зон мезотрещиноватости при решении конкретных задач нефтегазовой геологии | 116 |
| IV.2. Линеamentный анализ при изучении условий сохранности залежей углеводородов | 137 |
| IV.3. Линеamentный анализ при изучении зон рапогазонасыщения в верхнеюрских отложениях Западного Узбекистана | 147 |
| Заключение | 158 |
| Список литературы | 161 |

60 коп.



**ВНИМАНИЮ
СПЕЦИАЛИСТОВ!**

5261

В 1989 г. издательство "Недра"
выпускает новую книгу:

Барс Е.А., Селезнева Л.И., Скульская З.М.

**ВОДОРАСТВОРИМЫЕ
ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА
ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ.**

18 л. Ориентировочная цена 1 р. 20 к.

Монография является первой в мировой литературе работой о водорастворимых органических веществах современных и древних осадков. В ней изложены методические основы и оригинальные методики исследований; приведены фактические результаты изучения водорастворимых органических веществ илов Каспийского и Черного морей и глинистых пород мезозоя Западной Сибири и Южного Мангышлака; описаны способы интерпретации этих результатов для решения вопросов образования, миграции и аккумуляции углеводородов, а также в целях практического использования новых нефтегазопоисковых критериев в акватории (Каспий) и в пределах нефтегазоносных бассейнов молодых платформ (Западная Сибирь).

Книга рассчитана на геологов и геохимиков-нефтяников, занимающихся прогнозированием нефтегазоносности и поисками залежей углеводородов.

Книгу можно купить в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах — опорных пунктах издательства "Недра", адреса которых приводятся в ежегодных аннотированных планах издательства, а также через отделы "Книга—почтой" магазинов:

117334, Москва,
Ленинский проспект, 40, магазин № 115 или
199178, Ленинград,
В.О., Средний проспект, 61, магазин № 17.

НЕДРА