



ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ В КОМПЛЕКСЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ И НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ В СИБИРИ

Д. М. Трофимов*

Статья посвящена обобщению итогов применения дистанционных методов при нефтегазопроисловых работах в Западной и Восточной Сибири, а также оценке их результативности за большой интервал времени. Основные итоги многолетней работы – оценка подтверждаемости структурных ловушек, спрогнозированных на основе космических снимков, колеблющаяся в интервале 70–90 % в зависимости от плотности сети сейсмопрофилей, используемых для проверки результатов дешифрирования. Кроме того, обоснованные выводы о целесообразности изменения стадийности поисковых работ, что способствует повышению их геологической и экономической эффективности.

Ключевые слова: дистанционные методы, космические снимки, прогнозируемые структуры, месторождения нефти и газа, разрывные нарушения.

EXPERIENCE AND RESULTS OF USING REMOTE-SENSING METHODS IN A SET OF REGIONAL SURVEYS AND PROSPECTING FOR OIL AND GAS IN SIBERIA

D. M. Trofimov

The paper is concerned with generalized results of using remote-sensing methods in prospecting for oil and gas in West and East Siberia and estimate of their effectiveness in a long time. The main results of the long-term work are confirmability of structural traps predicted by satellite images which is variable from 70 to 90 % depending on grid spacing used for interpretation audit, and valid conclusions of expediency to change phases of prospecting, which increases their geological and economical efficiency.

Key words: remote-sensing methods, satellite images, predictable structures, oil and gas fields, rupture dislocations.

Оценка результативности использования дистанционных методов при поисках нефти и газа в Сибири может быть установлена только по итогам региональных и поисковых работ. До 1990-х гг. дистанционные исследования в Западной Сибири проводились многочисленными научными и производственными организациями (ЗапСибНИГНИ, ВНИГРИ, ВНИИКАМ, ВНИГНИ, «Аэрогеология» и др.) как по отдельным площадям, так и по крупным регионам. Значительный вклад в популяризацию применения дистанционных методов в 1980-х гг. в Сибири внес Научно-координационный совет по проблеме «Аэрокосмические исследования природных ресурсов» Сибирского отделения Академии наук СССР.

Необходимо подчеркнуть, что на региональном этапе осуществлялись преимущественно тектоническое районирование и выделение так называемых кольцевых структур, которые далеко не всегда имели отношение к нефтегазовым объектам. Тем не менее в этот период решались многочисленные задачи: инструментальная обработка дистанционной информации [1], создание методики прогноза структурных форм осадочного чехла [2], использование компьютерной техники для комплексного анализа аэрокосмической и геолого-геофизической информации [3] и др.

На основе использования космических снимков сформировалось новое направление поисковых работ – космоструктурное картирование, в том числе и в нефтегазоносных регионах. Подобная работа была проведена во ВНИГНИ и охватывала Западную Сибирь, Восточно-Сибирский и Тимано-Печорский регионы [4]. Картирование осуществлялось по типовым космическим снимкам м-ба 1:200 000 по единой методике [2]. Так как обобщить в настоящее время результаты исследований всех организаций по различным методикам не представляется возможным, для проверки выполненного прогноза структур осадочного чехла применялись космоструктурные карты, построенные в 1987 г. во ВНИГНИ (рис. 1).

Западная Сибирь – одна из наиболее изученных нефтегазоносных провинций России: здесь проведен большой объем сейсморазведочных и буровых работ, позволяющий объективно проверить результаты дистанционных исследований прежних лет.

Необходимо подчеркнуть, что качество использованных в тот период фотоснимков существенно уступало современным по разрешающей способности и количеству диапазонов спектра в видимой и инфракрасной областях спектра. Кроме того, последние, получаемые в цифровой форме, дают возможность улучшать качество изображений с помощью компьютерных методов.

* ООО «Ресенойл» (Королев)



Рис. 1. Схема месторождений нефти и газа Западно-Сибирской провинции и структур, спрогнозированных по дистанционным данным

1 – структуры, спрогнозированные по дистанционным материалам в 1987 г.; 2 – разрывные нарушения, спрогнозированные по дистанционным материалам в 1987 г.; 3 – граница Западно-Сибирской НГП; 4 – контуры открытых месторождений по состоянию на 2007 г.

Изученность Западно-Сибирской провинции дистанционными методами наиболее высокая и охватывает большой временной интервал (1987–2010 гг.). На данной территории за прошедшие годы было открыто более 700 месторождений нефти и газа, а также выявлены и подготовлены к глубокому бурению сотни локальных структур.

Это позволяет оценить информативность дистанционных методов на региональном и поисковом этапах.

Далее приводится сопоставление прогнозируемых структур III и IV порядков и результатов геолого-разведочных работ. На всей территории Западно-Сибирской провинции на региональ-



Рис. 2. Схема структур Западно-Сибирской провинции, спрогнозированных по дистанционным данным и выявленных сейсморазведкой

Усл. обозн. см. на рис. 1

ном этапе исследований спрогнозировано 420 структур III и IV порядков. К началу работ (конец 1980-х гг.) здесь было открыто 307 месторождений нефти и газа, а к 2007 г. – 775. Из них 84,7 % находятся в контурах или контролируются спрогнозированными объектами (см. рис. 1); 68 % выявленных и подготовленных к бурению поднятий также контролируются прогнозируемыми структурами или расположены в их пределах (рис. 2).

Следует отметить, что на них приходится 46 % площади провинции.

Приведенные статистические данные свидетельствуют о наличии закономерных связей между структурами, оконтуренными дистанционными и сейсморазведочными методами. Сущность этих связей отражает как структурную взаимосвязь роста поднятий на рельефообразующем этапе и их проявления на дистанционных материалах,



Рис. 3. Схема сопоставления структур осадочного чехла, прогнозируемых по дистанционным и выделенных по сейсморазведочным данным (п-ов Ямал)

1 – структуры, прогнозируемые по дистанционным данным; 2 – разломы; 3 – изогибсы по тюменской свите

так и связи их воздымания с переформированием или образованием новых молодых скоплений нефти и газа.

Подобные статистические показатели получены и по результатам работы на территории Ямала и Гыданского полуострова, где подтверждается прогнозируемых структур на уровне 73 % (рис. 3).

С целью проверки результатов структурного анализа конца 1980-х гг. осуществлена выборочная работа по тем же площадям на основе использования современных космических материалов и средств их специализированной обработки. Полученные данные подтвердили исследования прежних лет по прогнозированию локальных структур, а в связи с более высоким качеством снимков дали возможность открыть ряд новых объектов (рис. 4). Иными словами, речь идет о проверке проведенных в 1980-е гг. работ с помощью анализа новых космических снимков и структурных карт, открытых месторождений и выявленных поднятий.

Эффективность ранее выполненных дистанционных работ применительно к поисково-оценочному этапу определялась в районе Широного Приобья. Эти исследования предусматривали проверку результатов прогнозирования структур конца 1980-х гг. путем сопоставления с выявленными поисковыми объектами и открытыми месторождениями нефти и газа.

Наиболее активные поисково-разведочные работы в 1980-х гг. были реализованы в Широном Приобье. По результатам структурного анализа космических снимков по двум планшетам карт м-ба 1:200 000 (Горный и Пойкинский районы) были спрогнозированы 72 локальные структуры, из которых 50 соответствовали поднятиям, выявленным сейсморазведкой (см. рис. 4). Таким образом, сходимость результатов структурных и сейсморазведочных работ на то время составляла 69 %, однако некоторые структуры остались непроверенными. К 1992 г. плотность сети сеймопрофилей и повышение детальности сейсморазведки возросли, и в результате подтверждены



Рис. 4. Фрагмент карты сопоставления локальных структур, спрогнозированных по космическим данным и выявленных по результатам поисковых работ в Широтном Приобье (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция). Контуры локальных структур: 1 – по сейсморазведочным данным на 1987 г., 2 – по космическим данным, 3 – выявленных к 2007 г.; 4 – контуры прогнозируемых структур, подтвержденных сейсморазведочными работами на 2007 г.; 5 – контуры месторождений нефти и газа, открытых к 2007 г.; 6 – разрывные нарушения, прогнозируемые по космическим данным

еще 14 структур. К 2007 г. из 72 спрогнозированных структур в сейсморазведочных материалах отражены 65. Следовательно, по мере роста плотности сети сеймопрофилей суммарная подтверждаемость результатов структурных работ растет и в данном случае достигает 90 %. На 2007 г. количество открытых на выявленных структурах месторождений достигло 21.

Полученные статистические данные для поисково-оценочного (как и регионального) этапа геолого-разведочных работ характеризуются высокими показателями, отражая достоверность выполненного прогноза.

Рассмотрим еще один пример совместных дистанционных и сейсморазведочных работ на лицензионном участке Пограничный. Здесь по их результатам было обнаружено пять локальных поднятий и спрогнозировано семь структур (рис. 5). Для оценки характера проявления локальных структур на снимках сопоставление проводилось применительно не только к современному структурному плану, но и к результатам палеотектонического анализа. Кроме того, прогнозировались и зоны трещиноватости, которые сопоставлялись с разломами, установленными сейсморазведкой.

На данном участке были пробурены две скважины, в которых в дальнейшем получены промышленные притоки нефти. Поднятия использовались в качестве эталонов для оценки перспектив нефтегазоносности других открытых объектов с помощью геотемпературного и спектрального анализов. Эталонные структуры по этим данным характеризовались аномальными показателями на уровне фона (рис. 6). На основе анализа спектральных и геотемпературных показателей всех выявленных и спрогнозированных здесь объектов стало возможно оценить перспективы их нефтегазоносности: из семи спрогнозированных структур три представляют наибольший интерес для постановки поискового бурения.

Необходимо подчеркнуть, что приуроченность такого большого количества локальных поднятий и месторождений нефти и газа к прогнозируемым дистанционными методами объектам определяется не только активным ростом первых на рельефообразующем этапе (что и фиксируется дистанционными методами), но и переформированием залежей углеводородов под воздействием этого процесса, а также изменением регионального и локального наклона пород. Количество пуб-

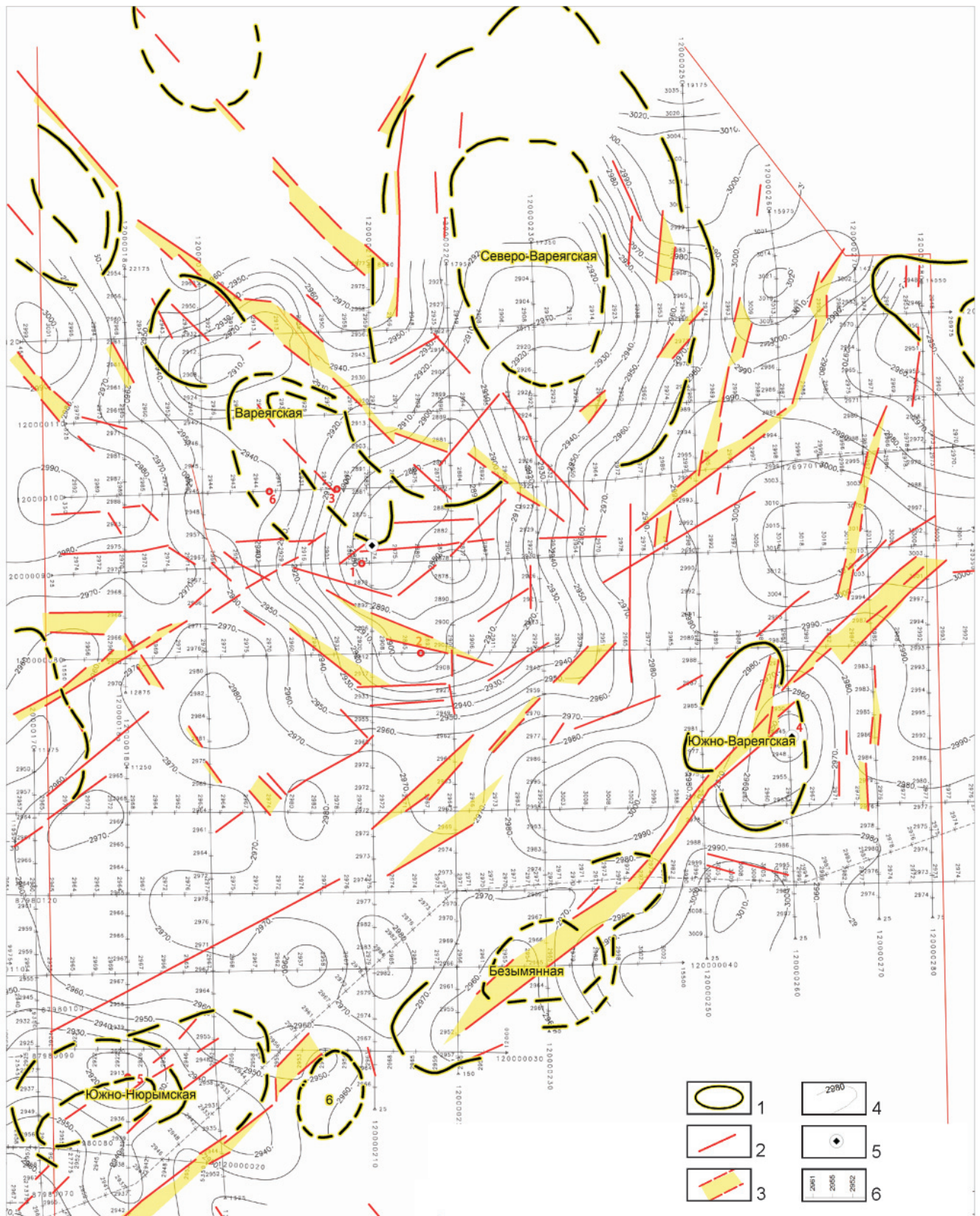


Рис. 5. Схема сопоставления результатов сейсморазведочных и дистанционных работ на лицензионном участке в южной части Западной Сибири

Прогнозируемые по дистанционным данным: 1 – структуры, 2 – разрывные нарушения, 3 – зоны трещиноватости; 4 – изогипсы отражающего горизонта Т; 5 – скважины; 6 – сейсмические профили

ликаций по данной тематике [1–3, 5, 7, 10, 11, 13] растет; в них подтверждаются полученные результаты, обращается внимание на значимость влияния проявившихся на неотектоническом эта-

пе разрывных нарушений, которые все чаще обнаруживаются при сейсморазведочных работах. Тем не менее возрастающий поток фактов в публикациях не изменил ситуации в нефтегазопроисловых

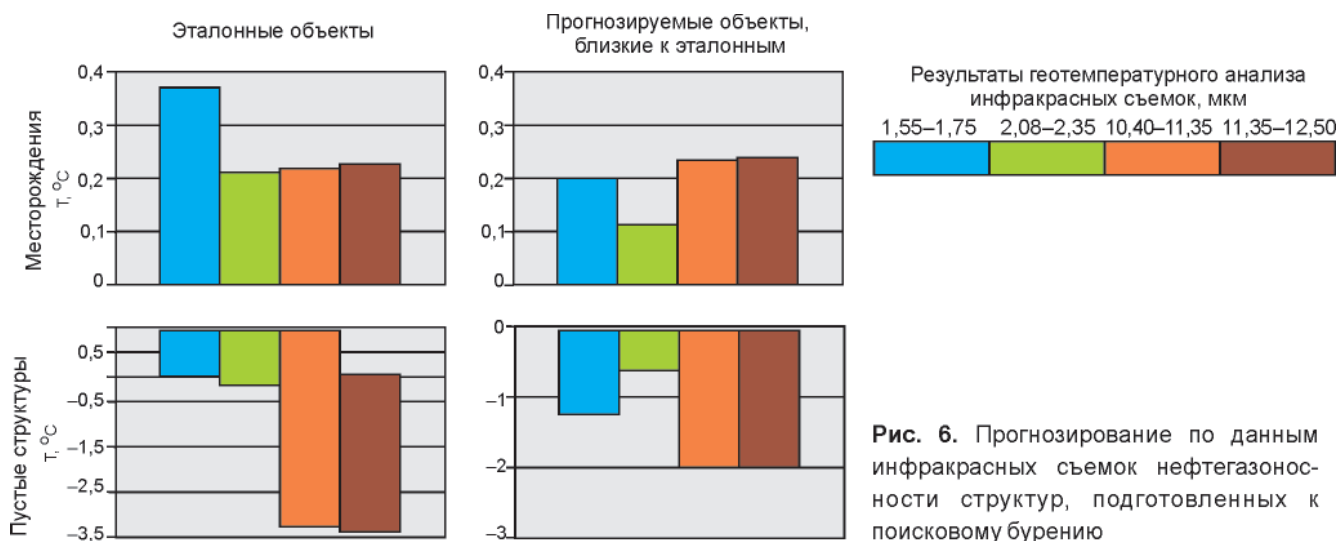


Рис. 6. Прогнозирование по данным инфракрасных съемок нефтегазоносности структур, подготовленных к поисковому бурению

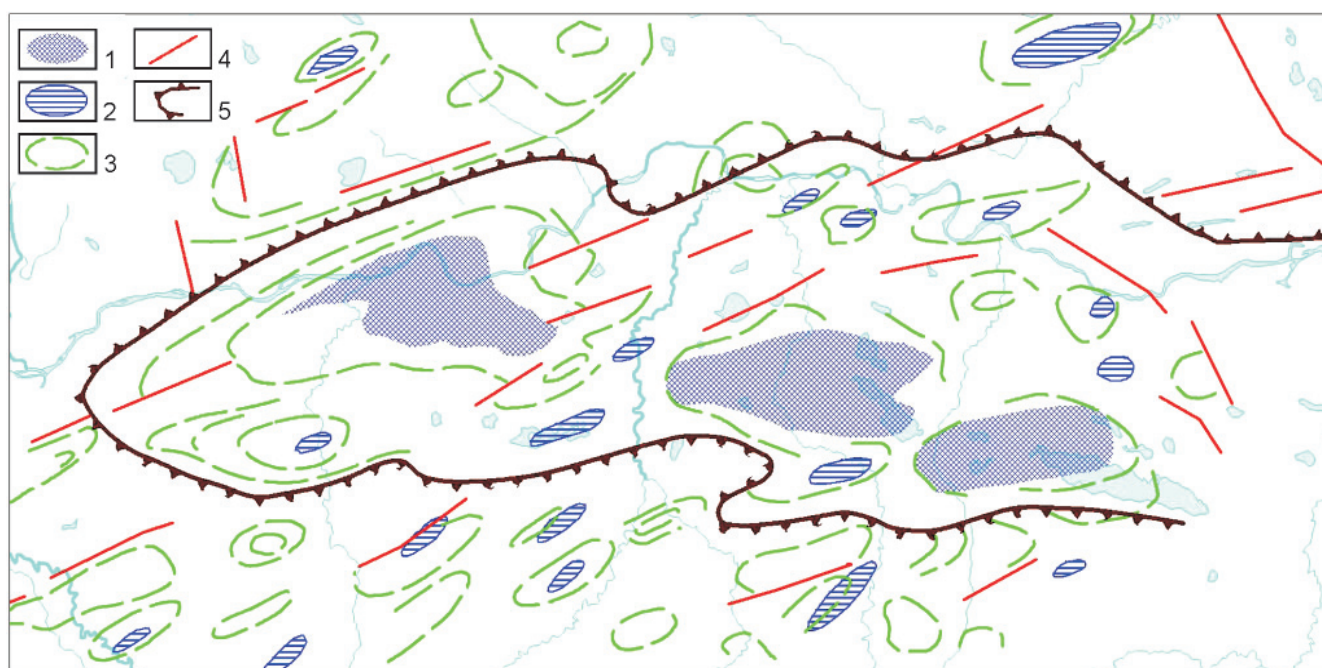


Рис. 7. Фрагмент карты локальных структур и разрывных нарушений, спрогнозированных по дистанционным данным и сейсморазведке, Хапчагайского вала Вилуйской синеклизы и сопредельных площадей.

1 – газовые месторождения; 2 – локальные поднятия, выявленные сейсморазведкой; прогнозируемые по космическим данным: 3 – структуры; 4 – разрывные нарушения; 5 – контур Хапчагайского вала

работах: практически ввести дистанционные методы в комплекс геолого-разведочных работ на нефть и газ не удастся.

Дистанционные исследования в Восточной Сибири были проведены в существенно меньшем объеме по сравнению с Западной Сибирью, преимущественно в южных и западных районах.

К началу космоструктурного картирования в 1987 г. в Восточной Сибири было открыто немногим более 45 месторождений нефти и газа и выявлено около сотни локальных структур. Дистанционные исследования реализованы на территории Камовского свода, части Непско-Ботубинской антеклизы, Хапчагайского вала и в Линденской впадины.

Сопоставление полученных результатов прогноза и итогов сейсморазведочных работ на 2007 г.

позволяет частично оценить подтверждаемость поисковых объектов, спрогнозированных по дистанционным данным (см. таблицу). Выборка сделана лишь по тем участкам региональных структур, где проведены геолого-разведочные работы. Небольшой прирост новых объектов, а соответственно и их подтверждаемость, объясняется тем, что со второй половины 1990-х гг. объем поисковых работ был сконцентрирован на относительно небольших лицензионных участках, не охватывающих площади космоструктурных исследований.

Так как геолого-разведочные работы в отличие от дистанционных проводились на отдельных площадях, то большая часть спрогнозированных объектов не опосредована и представляет собой потенциальный фонд локальных структур (рис. 7).

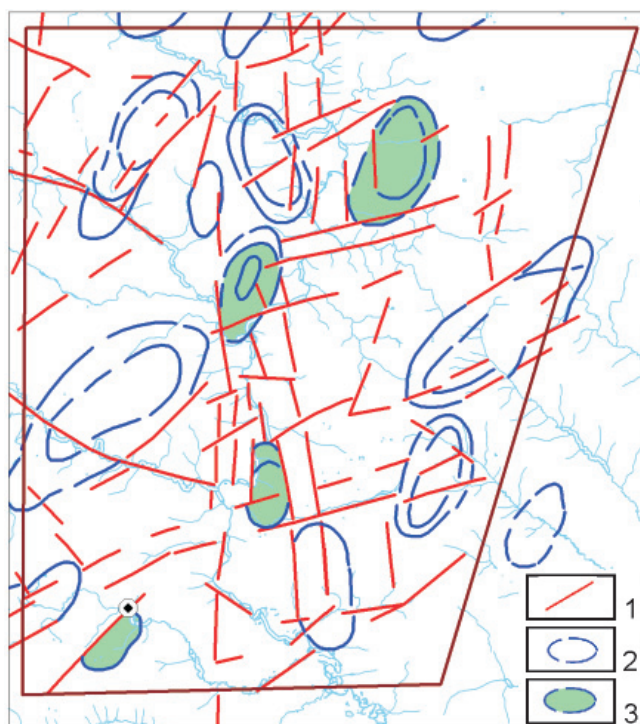


Рис. 8. Фрагмент карты локальных структур и разрывных нарушений, спрогнозированных по дистанционным данным и сейсморазведке, в восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы

Прогнозируемые по космическим снимкам: 1 – разломы, 2 – структуры; 3 – структуры по геофизическим данным

Оценка результативности космоструктурных исследований по результатам поисковых работ в основных нефтегазоносных провинциях в 1987–2007 гг.

Региональная структура	Сходимость результатов космоструктурных и сейсморазведочных работ по состоянию на 1987 г., %	Общая подтверждаемость прогнозируемых структур сейсморазведочными работами в 1987–2007 гг., %
<i>Восточно-Сибирская НГП</i>		
Камовский свод Байkitской антеклизы	56	63
Хапчагайский вал Вилуйской синеклизы	79	89
Линденская впадина	56	86
<i>Западно-Сибирская НГП</i>		
Гыданский свод	82	85
Салымский свод	76	92

Приведенные показатели подтверждаемости не отражают полной картины проверки всех спрогнозированных поисковых объектов по упомянутым регионам, но по мере увеличения плотности сейсмопрофилей этот показатель возрастает.

Результативность дистанционных исследований по прогнозированию локальных структур в связи с их оперативностью и возможностью использования для оценки ресурсной базы углеводородов показывает, что для неизученных и слабоизученных площадей Восточной Сибири единственным и оптимальным по затратам методом для скорейшего их освоения и объективной оценки ресурсной базы является дистанционное зондирование [9, 14, 15]. Показательный пример решения подобной задачи – изучение трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан», где по результатам структурного анализа космических снимков открыт ряд потенциально перспективных объектов [14].

Региональные работы в Восточной Сибири должны сопровождаться дистанционными исследованиями с целью выбора оптимальной трассы сейсмопрофилей для обнаружения в том числе и поисковых объектов, которые в дальнейшем могут стать основой для выделения лицензионных участков.

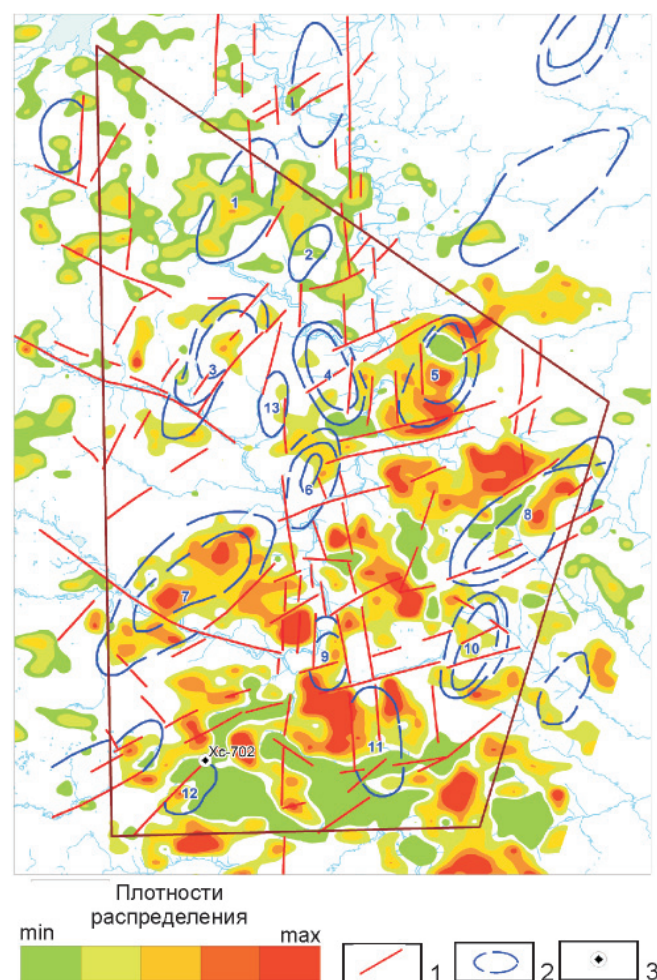


Рис. 9. Схема оценки перспектив нефтегазоносности локальных структур, спрогнозированных по дистанционным данным, методом спектрального анализа относительно эталонных месторождений

Прогнозируемые по космическим снимкам: 1 – разрывные нарушения, 2 – структуры; 3 – пустые скважины

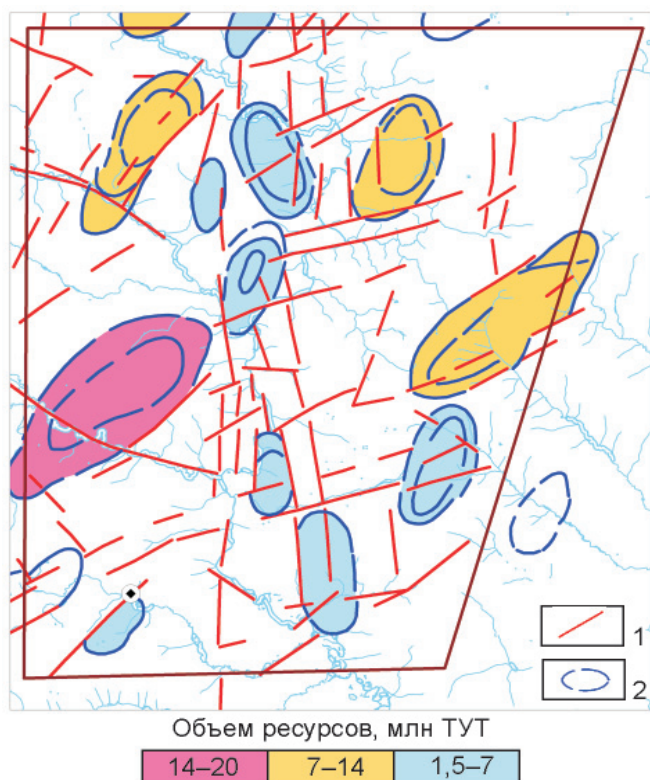


Рис. 10. Оценка прогнозных локализованных ресурсов структур, спрогнозированных по дистанционным данным

Усл. обозн. см. на рис. 9

Также геологически целесообразно и экономически оправдано применение аэрокосмических методов на предлицензионной стадии или после получения лицензии на участок. В этом случае недропользователи при относительно небольших (в сравнении с сейсморазведкой) затратах получают следующую информацию:

- спрогнозированные структурные ловушки с вероятностью их подтверждения на уровне 60–80 % (рис. 8);
- оценку перспектив нефтегазоносности или зараженности приповерхностных образований углеводородами в ареале спрогнозированных структур (рис. 9);
- оценку прогнозных локализованных ресурсов этих объектов на основании вероятностных методов (рис. 10);
- оценку рентабельности освоения как каждой из прогнозируемых структур, так и лицензионного участка в целом.

Многочисленные отказы от полученных лицензионных участков в Восточной Сибири связаны с ограниченностью геолого-геофизических материалов, не позволяющей оценить геологическую и экономическую целесообразность их освоения [9]. Использование дистанционных методов в комплексе с имеющимися геолого-геофизическими данными позволяет недропользователям получить законченную оценку выбранного участка с учетом соответствующих рисков, что дает им возможность в рамках лицензионных соглашений

оптимизировать не столько выявление, сколько подготовку поисковых объектов к глубокому бурению, а это может существенно повысить их результативность.

Опыт работ по геологической и экономической оценке лицензионных участков дает основание по-новому подойти к стадийности поисковых работ.

Использование предлагаемой стадийности помимо сокращения сроков выявления поисковых объектов обеспечивает недропользователю возможность оптимизации расходов на геолого-разведочные работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Амурский, Г. И.** Концепция геологической юности формирования газовых месторождений [Текст] / Г. И. Амурский // Геология нефти и газа. – 2002. – № 3.
2. **Гогоненков, Г. Н.** Структуры горизонтального сдвига Западной Сибири – попытка систематизации геологического феномена [Текст] / Г. Н. Гогоненков, А. С. Кашик, А. И. Тимурзиев // Геологическое изучение недр. – 2007. – № 4.
3. **Использование** геолого-геофизических, неотектонических и геохимических критериев при прогнозе нефтегазоносности осадочных бассейнов Сибири [Текст] / Е. В. Смирнов, А. П. Хилько, А. В. Боровикова [и др.] // Геология нефти и газа. – 2009. – № 3.
4. **Использование** материалов космических съемок при региональных геологических исследованиях: Методические рекомендации [Текст]. – М., 1986.
5. **Кузьмин, Ю. О.** Современная аномальная геодинамика асейсмичных разломных зон [Текст] / Ю. О. Кузьмин // Вестник отделения наук о Земле РАН. – 2002. – № 1.
6. **Методические** рекомендации по применению аэрокосмических методов при нефтегазописковых работах [Текст]. – М.: ВНИГНИ, 1987.
7. **Некрасов, А. И.** Альпийская тектоника Западно-Сибирской геосинеклизы [Текст] / А. И. Некрасов, И. П. Сапчук. – Тюмень: Геосейс, 2009.
8. **Прогнозирование** структур осадочного чехла на основе комплексной интерпретации и обработки на ЭВМ аэрокосмических и геолого-геофизических данных [Текст]: Сб. статей. – М.: ВНИГНИ, 1990.
9. **Тавризов, В. Е.** Геологическая и экономическая целесообразность включения дистанционных методов в обязательный комплекс работ на лицензионных участках [Текст] / В. Е. Тавризов // Земля из космоса. – 2011. – № 8.
10. **Тимурзиев, А. И.** Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): Автореф. дис. ... д. г.-м. н. [Текст] / А. И. Тимурзиев. – М.: МГУ, 2009.



11. **Трофимов, Д. М.** Методика, возможности и направления использования аэрокосмических методов на региональном этапе геолого-разведочных работ на нефть и газ [Текст] / Д. М. Трофимов, Л. П. Полканова // Геология нефти и газа. — 1987. — № 5.

12. **Трофимов, Д. М.** Результаты космоаэрогеологических исследований при поисках локальных структур основных нефтегазоносных территорий СССР [Текст] / Д. М. Трофимов, Л. П. Полканова // Исследование Земли из космоса. — 1990. — № 4.

13. **Хафизаров, А. И.** Исследование пластовых нефтей [Текст] / А. И. Хафизаров. — М.: Недра, 1987.

14. **Шуваева, М. К.** Оценка прогнозных локализованных ресурсов углеводородов вдоль трас-

сы ВСТО на основе космической и геолого-промысловой информации [Текст] / М. К. Шуваева // Прогнозирование структур чехла юга Восточной Сибири космическими методами и оценка их прогнозных локализованных ресурсов в условиях слабой геологической изученности. — Королев, 2010.

15. **Шуваева, М. К.** Оценка достоверности прогнозных локализованных ресурсов углеводородов и геологических рисков слабо изученных регионов Восточной Сибири [Текст] / М. К. Шуваева // Прогнозирование структур чехла юга Восточной Сибири космическими методами и оценка их прогнозных локализованных ресурсов в условиях слабой геологической изученности. — Королев, 2010.

© Д. М. Трофимов, 2011



В 2011 году в Новосибирске вышла в свет книга

Сейсмические исследования земной коры

(сборник докладов
Всероссийской научной конференции,
посвященной 95-летию академика
Н. Н. Пузырева).

23–25 ноября 2009 г. в Новосибирском Академгородке состоялась Всероссийская научная конференция «Сейсмические исследования земной коры», посвященная 95-летию выдающегося геофизика России академика Н. Н. Пузырева (при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН).

В адрес оргкомитета поступило 128 заявок известных ученых Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Красноярска, Новосибирска, Иркутска, Томска, Трондхейма и др. В работе конференции приняли участие представители крупных геофизических и нефтяных компаний России, Мексики и Норвегии.

Издание сборника посвящено 95-летию выдающегося российского геофизика, специалиста в области сейсмических исследований земной коры, одного из создателей отечественной сейсморазведки Николая Никитовича Пузырева. Еще в 1950-е гг. его работы заложили прочный теоретический фундамент методов интерпретации полевых материалов сейсморазведки в самых различных ее модификациях. Эти методы развивались им и в дальнейшем, но многие результаты, полученные полвека назад, не утратили своей ценности и сейчас. Идеи Н. Н. Пузырева, касающиеся временных полей, не только вписались в идеологию построения многократных систем наблюдений, существенно обогатив ее, но и сделали принципиально возможным применение облегченной методики ГСЗ, что позволило за короткое время выяснить структуру земной коры во многих труднодоступных районах Сибири. Главным делом жизни Н. Н. Пузырева оказалась многоволновая сейсмика, выросшая из идеи совместного использования продольных и поперечных волн. Мировая геофизика только в последние годы по-настоящему пришла к пониманию исключительной важности многоволновых исследований, повсеместное внедрение которых можно сравнить с такими этапами в эволюции сейсморазведки, как внедрение многократных систем наблюдения, компьютерной техники и 3D-сейсмики.

Составители попытались отразить именно те направления, которые близки Н. Н. Пузыреву. Долгие годы своей жизни он жил и работал в Сибири, может быть, поэтому большая часть докладов сделана именно сибирскими геофизиками. Но не подлежит никакому сомнению то, что научная деятельность Н. Н. Пузырева имеет значение и далеко за пределами российского общества и есть явление мирового масштаба.