

Секция 3

**Геофизические методы поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых****ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В РАЙОНЕ Г.ТОМСКА****Е.В. Гусев, доцент кафедры геофизики***Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

К настоящему времени в экогеофизических исследованиях на кафедре геофизики ТПУ сформировалось два основных направления, наиболее актуальных для г. Томска и области:

* изучение и прогнозирование оползневых процессов вдоль берегового склона р. Томи в районе г.г. Томска и Северска,

* оценка надежности водоупорных горизонтов и противофильтрационных экранов в районе расположения хранилищ жидких радиоактивных отходов Сибирского химического комбината, а также картирование ореолов распространения отходов.

Началом экогеофизических исследований в научных направлениях кафедры геофизики следует считать 1989 год, когда коллективом сотрудников кафедры были проведены первые наблюдения методами электроразведки на оползневых участках Лагерного сада. Традиционно применявшиеся методы электроразведки для прогнозирования оползневых явлений (ВЭЗ, ЕП) не дали ожидаемого результата из-за большого количества электрических помех, прежде всего связанных с блуждающими токами промышленных утечек. В этих условиях оказалось возможным использовать помехи в качестве полезного сигнала – проследить преимущественные направления распространения блуждающих токов (БТ). Для этого проводились измерения градиентов потенциала БТ по двум взаимно перпендикулярным направлениям в течение нескольких минут. Затем отстраивались положения осредненных значений полного горизонтального градиента БТ, направление которого совпадает с преимущественным простираем токовых линий. В точках, где направление токовых линий параллельно береговому склону, наиболее вероятно заложение трещин закола. По этим признакам были выявлены направления основных потоков подземных вод и выделены четыре участка, наиболее опасных с точки зрения активизации оползневых процессов. Прогноз подтвердился по всем участкам.

Мониторинг оползневых процессов в Лагерном саду геофизическими методами был проведен в 1991 году (Гусев и др., 1996). Тогда в качестве параметра, контролирующего наличие физико-химических процессов на контактах геологических тел, в том числе и оползневых, был использован коэффициент корреляции естественных электрических полей, наблюдаемых при мониторинговых съемках. Накопленный опыт использовался сотрудниками кафедры при изучении оползневых процессов в микрорайоне "Солнечный" г. Томска и на правом берегу р. Томи в г. Северске при участии студентов (Гончарко, 1999).

Сейсмические методы изучения оползневых процессов были опробованы в 1995 году в микрорайоне "Солнечный" доцентом В.П. Меркуловым и старшим преподавателем А.А. Никольским. Сейсморазведка методом отраженных волн успешно решала задачи оконтуривания оползневых тел и определения их мощностей, оценки морфологии и положения плоскости скольжения, выделения зон растяжения и транзита.

Большие перспективы, с точки зрения мониторинга оползней, намечаются у микросейсмического метода (Никольский и др., 2001). В комплекс геофизических исследований оползневых явлений впервые был включен метод регистрации микросейсм с целью качественной оценки напряженного состояния массива. Для получения параметров пространственного волнового поля микросейсм производилась трехкомпонентная регистрация поля смещений в диапазоне частот 5 – 100 Гц с получением пространственно ориентированных записей колебательных процессов в грунтах с совмещением всех трех компонент в одной точке наблюдений.

Анализ микросейсмических данных показал, что по соотношению между вертикальными и горизонтальными амплитудами колебаний частиц грунта, а также по ориентировке эллипсов анизотропии колебаний выделяются не только опасные в оползневом отношении участки, но возможен и кратко-среднесрочный прогноз оползневой опасности. Микросейсмический метод также успешно применялся при оценке рисков в строительстве.

Поскольку наиболее интенсивно оползневые процессы были проявлены в Лагерном саду, здесь был проведен большой комплекс берегоукрепительных работ и в настоящее время осуществляется проходка противооползневой дренажной горной выработки (ДГВ) вдоль берега р. Томи.

Работы методами электроразведки использовались при изучении зоны провала грунта в ДГВ в Лагерном саду в 1997 году. В результате исследований была выделена зона скопления техногенных вод над штольней, оценены ориентировка и размеры трещины провала на глубине около 30 метров, что позволило принять правильное инженерное решение по ликвидации последствий провала и по дальнейшей проходке штольни (Зятев и др., 1997).

В связи с аварийными ситуациями проходка западного крыла ДГВ была приостановлена и сейчас эпицентр ее забоя находится в 60 метрах к востоку от мемориального комплекса. Весной 2003 года при участии сотрудников и студентов кафедры геофизики для обоснования проведения ДГВ вдоль ее оси были выполнены опережающие геофизические исследования комплексом методов, включающим сейсморазведку в профильном варианте и площадную электроразведку методами сопротивлений (ВЭЗ, ЭП) и ЕП в модификации измерения градиентов потенциала БТ.

На основе геофизических наблюдений были сделаны выводы (Гусев и др., 2003), что в Лагерном саду в береговую зону под мемориальным комплексом поступают техногенные минерализованные воды, создавая дополнительное гидростатическое давление на берегоукрепительные сооружения. Из-за образования своеобразного «мешка» пльвунов под мемориалом при возрастании гидростатического давления с течением времени возможен его

прорыв. Для стабилизации этого процесса необходимо сменить направление проходки дренажной горной выработки, а в районе берегового склона р. Томи необходимо организовать геофизический мониторинг.

Результаты работ по применению сейсмических и электрических методов при изучении оползневых процессов докладывались на четырех международных конференциях (Москва, Томск, Вена, Лейпциг, 1996-1998), на региональных семинарах, рабочих группах и координационных советах.

В 1992 г. было положено начало сотрудничеству кафедры с Сибирским химическим комбинатом, когда впервые в районе санитарно-защитной зоны комбината был проведен комплекс геофизических исследований (электроразведка, сейморазведка) с целью оценки качества регионального водоупорного горизонта в отложениях палеогена. В работах также принимали участие сотрудники и студенты кафедры. В результате работ по комплексу геофизических данных были обнаружены окна опесчанивания водоупорного горизонта, однако из-за нехватки средств заверка этих участков не была проведена.

В 1993 г. с Сибирским химическим комбинатом был заключен долгосрочный договор по теме “Геофизические исследования в районе расположения поверхностных хранилищ жидких радиоактивных отходов (ЖРО)” под научным руководством профессора Л.Я. Ерофеева и одной из первых заказчиком была поставлена задача изучения состояния противифльтрационных экранов поверхностных хранилищ ЖРО. Вначале была проведена теоретическая проработка вопроса возможности измерений и выполнены экспериментальные исследования на лабораторной модели хранилища. Затем, впервые в стране, в зимнее время, с поверхности льда были проведены геофизические наблюдения по оригинальной методике, позволяющей в условиях повышенной радиоактивности в кратчайшее время (за один цикл наблюдений) получить 4 параметра, характеризующих состояние противифльтрационного экрана и подэкранной толщи (Гусев и др., 1996). В результате работ была выявлена и откартирована линейная зона протечки глинистого экрана одного из хранилищ. Наличие этой протечки подтверждено данными химических анализов подземных вод из наблюдательных скважин.

В последующие годы в районе этого хранилища откартирован ореол распространения отходов, вызванный утечкой, отработана методика изучения состояния глинистого экрана на хранилище ЖРО, засыпанном грунтом.

В 1997 г. для обеспечения возможности геофизического мониторинга состояния глинистых экранов хранилищ, где из-за высокой радиоактивности непосредственные измерения невозможны, была создана (и на одном из хранилищ развернута) стационарная геофизическая установка. Это позволило проводить дистанционные геофизические исследования противифльтрационных экранов в мониторинговом режиме. В 1999 г. разработана методика изучения состояния экранов хранилищ при кислой радиоактивной среде.

К настоящему времени разработана и опробована специальная методика и технология геофизического изучения хранилищ жидких промышленных отходов и ореолов распространения отходов при практически любом их составе - от кислых радиоактивных при высокой общей минерализации до пресных нейтральных нерадиоактивных (Гусев и др., 1996, 2000; Ерофеев и др., 1998).

В 2003 году для решения весьма сложной задачи прослеживания ореола распространения отходов по наблюдениям в обсаженных скважинах сотрудниками СНИИГТиМСа и ИГНД ТПУ было проведено исследование с целевым заданием «Разработка и внедрение системы дистанционного мониторинга контура подземного захоронения ЖРО». Теоретические расчеты показали, что в данной ситуации задача вполне может быть решена. В небольшом объеме проведены полевые опытно-методические работы и получены обнадеживающие результаты.

Все работы в этом направлении ведутся в тесном сотрудничестве с персоналом лаборатории геотехнологического мониторинга Сибирского химического комбината.

Параллельно с этими вопросами ведутся исследования возможностей геофизических методов при картировании активных тектонических нарушений, геодинамических зон и зон трещиноватости в толще осадочного чехла Томского района, а также изучение сейсмической активности района г. Томска

Так, в 1998 - 99 годах институтом ВНИПИЭТ при участии специалистов кафедры на территории санитарно-защитной зоны СХК проведены профильная эманационная (радон-тороновая) съемка с радиометрией и двухуровневая магнитная съемка с целью изучения разрывных структур (зон трещиноватости) в верхней части разреза чехла. По данным эманационной съемки выделены три наиболее крупные геодинамические зоны северо-восточного простирания, однако из-за широкого распространения болот в пределах санитарно-защитной зоны СХК площадная эманационная съемка оказалась невозможной. Для оценки интенсивности фильтрационных процессов на отдельных аномальных участках было рекомендовано проведение измерений методом естественного электрического поля в режиме изучения этого поля по площади и во времени.

В 2000 году на площади санитарно-защитной зоны СХК был выполнен комплекс геолого-геофизических работ, включающий, наряду с геологическими маршрутами, электроразведку (ДЭП, ЕП), магниторазведку и сейморазведку. По данным полевых исследований составлена тектоническая схема района работ, определены наиболее крупные фильтрационные зоны, уточнена морфология поверхности фундамента, выделены тектонические нарушения, проявленные в фундаменте и отложениях чехла. В работе принимали участие сотрудники и студенты нескольких кафедр ИГНД ТПУ.

При изучении сейсмической активности были проанализированы и обобщены фондовые и опубликованные данные о сеймотектонической обстановке района г. Томска, где находятся промышленные объекты повышенной потенциальной опасности (Гусев, 2003). Сделаны выводы о том, что при протекающем процессе накопления напряжений в земной коре на данном этапе правомочно отнесение Томска к пятибалльной зоне сейсмической опасности. Но район г. Томска признан сеймотектоническим аналогом района Газли, где после закачки в пласт 600 млн м³ воды для вытеснения нефти произошло два крупных землетрясения (в 1976, а затем в 1984 годах) интенсивностью до 8 баллов на фоне неугихающей сейсмической активности, хотя по карте общего сейсморайонирования этот район относился к зоне 6-балльной опасности. Кроме того, отнесение района г. Томска к асейсмичным базируется на слабой сейсмологической изученности при отсутствии инструментальных наблюдений.

С учетом результатов анализа был сделан вывод о настоятельной необходимости установки в районе г. Томска стационарной телесеизмической станции, включенной в региональную сеть. Это тем более необходимо, что

сейсмический эффект при строительстве в асейсмичных районах обычно не учитывается и даже при 5 - 6 балльных толчках возможны катастрофы.

Литература

1. Гончарко А.В. Условия образования и прогноз развития оползневых процессов на правом берегу р. Томи в районе г. Северска по геофизическим данным // Проблемы геологии и освоения недр: Труды III Междунар. научн. симп. студентов, аспирантов и молодых ученых им. акад. М.А. Усова.– Томск: ТПУ, 1999.– С. 199 – 200.
2. Гусев Е.В., Гусева Н.Д., Зятев Г.Г. Применение метода естественного электрического поля для мониторинга процессов оползнеобразования и выявления потоков фильтрации грунтовых вод // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях.: Тр. Всероссийского науч.-техн. совещ. – Томск : ТПУ, 1996₁.– С. 124 – 126.
3. Гусев Е.В., Ерофеев Л.Я., Зубков А.А. Методика геофизического мониторинга состояния экранов поверхностных хранилищ жидких радиоактивных отходов // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Тр. Всероссийского науч.-техн. совещ. – Томск : ТПУ, 1996₂. – С. 120 – 121.
4. Гусев Е.В., Гусева Н.Д., Сухоруков В.А. Картирование ореолов техногенного загрязнения грунтовых вод с помощью геофизических методов // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Тр. Всероссийского науч.-техн. совещ. – Томск : ТПУ, 1996₃. – С. 121 – 123.
5. Гусев Е.В., Ерофеев Л.Я., Сухоруков В.А. Возможности геофизического мониторинга открытых хранилищ жидких промышленных отходов // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск, 2000.–Т. 2. – С. 466 – 467.
6. Гусев Е.В. Анализ региональной сейсмичности района Томска // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Матер. Всероссийской науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Д.С. Микова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. –С. 278 – 281.
7. Гусев Е.В., Забродина Н. А., Абатурова О.А. Изучение оползневых процессов геофизическими методами в районе Лагерного сада (г. Томск) // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Матер. Всероссийской науч.-техн. конфер., посвящ. 100-летию со дня рождения Д.С. Микова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.– С. 281 – 285.
8. Ерофеев Л.Я., Гусев Е.В. К методике геофизического мониторинга хранилищ жидких радиоактивных отходов // Экологическая геофизика и геохимия: Сб. матер. Междунар. конф. – Москва-Дубна: ВНИИгеосистем, 1998. – С. 214 – 216.
9. Зятев Г.Г., Никольский А.А. Об обострении оползневой ситуации в Лагерном саду // Проблемы взаимодействия природы и общества: Научные труды.–Томск: Изд. ТГУ, 1997.–В. 2. – С. 31 – 34.
10. Никольский А.А., Пинсон А.Ю. Микросейсморазведка при изучении оползневых процессов // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: Матер. междунар. науч.-технич. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – С 185 – 188.

РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ СТАНЦИИ «ПИКЕТ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.А. Агафонов, М.В. Шарлов

**Научный руководитель доктор г-м. н. А.В. Поспеев
ГеоинформЦентр ФГУГП «Иркутскгеофизика», г.Иркутск, Россия**

В 2003 г. предприятием «Иркутскгеофизика» для выполнения электроразведочных работ методом ЗСБ была введена в эксплуатацию цифровая телеметрическая электроразведочная станция ПИКЕТ, являющаяся значительно усовершенствованной в техническом плане предыдущей версией цифровой станции SGS-ТЕМ, которая использовалась на предприятии в течение предыдущих 5 лет. Обе станции являются совместными разработками предприятий «Иркутскгеофизика», г.Иркутск, «СибГеоСейс», г.Новосибирск (станция SGS-ТЕМ) и «ГеоТелеСистемы», г. Новосибирск (станция ПИКЕТ).

Основными техническими усовершенствованиями станции ПИКЕТ перед SGS-ТЕМ можно назвать следующие:

- возможность использования до 10 каналов для подключения приемных модулей (ПМ);
- встроенное устройство синхронизации работы бортового модуля станции и пространственно-удаленного коммутатора генераторной установки на основе GPS;
- оснащение приемных модулей приемниками GPS;
- расширенный диапазон усиления входного сигнала (1- 131072);
- встроенные необслуживаемые аккумуляторы ПМ, позволившие снизить вес и габариты станции;
- большая пропускная способность (по сравнению с LPT) интерфейса USB для подключения бортового модуля к персональному компьютеру.

Неотъемлемой частью современной цифровой телеметрической станции является программное обеспечение, и именно от его качества зависит, насколько полно будут использоваться предоставляемые широкие аппаратурные возможности. В связи со значительными техническими отличиями станции ПИКЕТ от предыдущего образца, программный комплекс также претерпел серьезные изменения. Они коснулись всех составляющих – от блоков, взаимодействующих с аппаратурой на низком уровне (драйвер, программа регистрации сигналов), до программ обработки, качественной и количественной интерпретации, моделирования и представления результатов. При разработке нового комплекса учитывался опыт эксплуатации предыдущей версии станции, были использованы

зарекондовавшие себя подходы. Так, несомненным достоинством комплекса можно считать использование в качестве основы для взаимодействия различных программных блоков единой базы данных (БД) на основе модели «реляционная + файловая БД». По сравнению с комплексом станции SGS-TEM ядро для работы с БД было значительно переработано – был осуществлен переход на современную перспективную технологию доступа к данным – ADO, применена клиент-серверная архитектура программ, в качестве БД используется ядро Microsoft.Jet.4.0, что позволяет использовать преимущества языка SQL. Такая архитектура системы дает возможность единообразным способом получать доступ к любой информации, хранящейся в БД, из любой программы комплекса.

В настоящий момент идет работа по совершенствованию программного комплекса, реализовано на новом уровне несколько программных блоков. Этап получения полевого материала представлен программой «Регистрация ЗСБ». Программа предназначена для управления бортовым модулем станции и позволяет настраивать любые параметры работы станции, производит визуализацию регистрируемых сигналов в реальном времени для каждого канала, позволяет просмотреть все полученные реализации сигналов в одном окне, получает и отображает в требуемом масштабе данные с GPS приемников ПМ, записывает служебную информацию (параметры регистрации – усиление, частота дискретизации, длина записи и др.) в реляционную БД, сохраняет каждую реализацию сигнала с арифметическим шагом в соответствующем разделе файловой БД. Кроме этого, программа обеспечивает возможности просмотра в реальном времени спектра регистрируемых сигналов и автоматического расчета трансформант сигнала – ρ_t и S_e , что позволяет оператору станции контролировать качество получаемого материала и принимать решение о необходимости дальнейшего накопления материала на конкретной точке.

Программа первичной обработки «ToCleanRb 3.6» претерпела изменения, в основном касающиеся работы с новой структурой БД, также были модернизированы некоторые инструменты для обработки материала. Заново создан программный блок для качественной интерпретации «Profile 3.0». Программа интенсивно работает с БД, позволяет построить профиль из выбранного набора точек наблюдений, представляет информацию в виде графиков и планов графиков по выбранному или созданному профилю, рассчитывает различные дополнительные трансформации сигнала, производит интерполяцию и построение геоэлектрических разрезов на экране (наподобие программы Surfer), а также позволяет вывести любую графическую информацию на печать.

В ходе работы над программным комплексом идет интенсивное сотрудничество с Институтом Геофизики СО РАН. В частности, в программе моделирования / инверсии «Model 3.0» используются алгоритмы и программные модули для быстрого расчета прямых и обратных 1D / 3D задач, разработанные ИГФ СО РАН.

Современный уровень развития информационных технологий заставляет пересмотреть концепцию построения программного комплекса в направлении от набора разрозненных программ, объединенных единой БД, к единой унифицированной программной среде, в которой в качестве интегрирующей оболочки используется геоинформационная система. Выбор ГИС в качестве основы программной среды для работы с электроразведочными данными оправдан по нескольким причинам:

- работа ведется на местности по профилям и площадям, поэтому необходимо представлять пространственную информацию (схемы расположения приемных датчиков, магнитных диполей, данные GPS);
- здесь имеется оболочка для работы с проектами, предполагающая единообразный способ получения и обработки данных (окно, отображающее карту и панели инструментов для выполнения требуемых операций);
- возможна визуальная интерактивная работа с информацией, поэтому повышается наглядность представления данных, уменьшается возможность ошибки;
- упрощается сохранение информации в базе данных при регистрации в полевых условиях;
- визуализация расположения приемных модулей и источников поля позволяет применять эффективную систему индикации ошибок в реальном времени при работе станции и оперативно устранять неисправности полевых модулей, приемных петель и линий связи;
- появляется возможность сопоставления различной картографической информации, данных других геофизических методов (сейсморазведка, электроразведка, грави- и магниторазведка);
- пространственное представление каналов телеметрической станции на этапе проектирования сети наблюдений позволяет оптимально организовывать наблюдения с применением сложных установок зондирования (многократные перекрытия, площадные наблюдения).

Исследование различных известных настольных геоинформационных систем (MapInfo, ArcView) позволило сделать выводы о малой их пригодности в качестве основы для построения единой программной среды. Не умаляя достоинств вышеуказанных ГИС, можно выявить несколько типичных недостатков подобных систем:

- наличие внешнего по отношению ко всему комплексу программного средства, требующего установки, настройки и администрирования;
- зачастую невысокая устойчивость ГИС при работе с большими объемами данных совместно с программами получения и обработки полевых материалов ввиду их высокой ресурсоемкости;
- неудобство разработки собственных специализированных инструментов для обработки данных в среде ГИС (необходимость разработки инструментов на встроенных в ГИС макро-языках, имеющих небольшое взаимодействие), не слишком развитые возможности для работы с произвольной СУБД;
- широкий набор возможностей и инструментов, который в данном случае является недостатком, т.к. большая часть таких возможностей не находит применения в конкретном случае и приводит к излишней перегруженности системы.

С учетом сделанных выводов была начата разработка собственной ГИС для работы с электроразведочной информацией – «GeoMap». На данный момент «GeoMap» обладает следующими возможностями:

- отображение векторной информации (точечные, линейные, полигональные системы);
- работа с необходимыми выбранными системами координат (WGS84, Pulkovo1942);

- полная поддержка формата файлов ArcView, импорт файлов формата MapInfo, собственные текстовые форматы для сохранения или чтения координатной информации;
- использование инструмента для быстрой координатной привязки растров;
- подключение привязанных растров в формате MapInfo;
- получение координат напрямую из GPS приемников Garmin;
- поддержка иерархической структуры для управления отображением слоев, легенда;
- использование механизма доступа к базам данных на основе технологии ADO;
- наличие гибко конфигурируемого компонента (Data Provider), обеспечивающего доступ к данным из разных источников, с сохранением метаданных (данных о структуре и связи таблиц);
- расширение функциональности системы, что достигается созданием программных модулей и интегрированием их в ГИС;
- использование механизма для подключения инструментов, реализованных другими разработчиками (plug-in's).

Развитие ГИС в настоящее время продолжается, реализуются новые инструменты для обработки пространственной информации, встраиваются уже существующие модули, идет построение опытной версии интегрированной оболочки на основе ГИС.

Новая версия аппаратно-программного комплекса станции «Пикет» обладает рядом преимуществ перед прежней версией – использование GPS, ГИС технологий позволяет при необходимости изменять методику работ – отпадает необходимость в проведении предварительных рекогносцировочных работ на местности, так как трек доступен в реальном времени в модуле автоматического расчета геометрии установки зондирования, встроенном в ГИС. Частично реализована и продолжает развиваться единая программная среда на основе ГИС, что увеличивает наглядность информации и уменьшает вероятность ошибки. Появились собственные модули для представления и печати результатов, имеются широкие возможности для создания собственных инструментов для решения различных задач.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ КОНСЕРВАЦИИ ХРАНИЛИЩ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

А.А. Аскеров, В.В. Волков

Научный руководитель доцент **Е.В. Гусев**

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Открытые хранилища жидких промышленных отходов имеются на большинстве промышленных предприятий и, называясь по-разному (бассейны, пульпохранилища и т.д.), обычно представляют собой пруды - отстойники. Гидроизоляция в них обеспечивается слоем глины, от состояния которого зависит надежность хранилищ. При разрывах слоя или уменьшении его мощности из хранилища возможны утечки отходов. Выявление утечек как у находящихся в режиме наполнения, так и особенно у законсервированных отстойников с длительным сроком хранения отходов является одной из насущных проблем эксплуатации такого рода объектов.

Методика исследования состояния противодиффузионных экранов хранилищ, находящихся в режиме наполнения, разработана и опробована на кафедре геофизики ТПУ с 1992 г. (Гусев и др., 1996, 2000), но исследование экранов здесь проводилось электроразведкой на открытых, незасыпанных чашах бассейнов в условиях однородной в геоэлектрическом отношении верхней толщи (минерализованный раствор).

Однако при консервации отстойника, которая обычно осуществляется путем засыпки его местным грунтом, изучение состояния противодиффузионного экрана усложняется из-за большой неоднородности свежего насыпного грунта. Из практических и экспериментальных исследований известно (Лысенко, 1972), что характерной чертой насыпных грунтов является их значительная сжимаемость. Под влиянием собственного веса осадка песков составляет 2,5 – 3 %, глин – 10 – 12 %, а процесс уплотнения первых заканчивается за 2 года, вторых – за 5 – 7 лет.

На одном из таких хранилищ при непосредственном участии авторов проведены геофизические исследования с целью изучения литологических неоднородностей противодиффузионного экрана и отсыпки чаши отстойника, а также оценки глубины проникновения минерализованного раствора в противодиффузионный экран и подэкранную толщу.

В качестве основных методов решения поставленных задач были приняты электроразведка (ЕП в модификации измерений потенциала по сети 10 x 10 метров, ВЭЗ с АВ/2 до 100 метров по сети 20 x 20 метров) и сейморазведка (МПВ по системе встречных годографов) с межпрофильным расстоянием 20 метров.

Интерпретация данных метода ВЭЗ проводилась в два этапа. На первом этапе для создания логической основы последующей количественной интерпретации проводилась качественная интерпретация. Этот этап включал в себя следующие операции.

1. Построение карты типов кривых ВЭЗ.
2. Построение карт изоом для разных полуразносов АВ/2.
3. Построение разрезов изоом ρ_k .

С помощью карты типов кривых ВЭЗ выбирались участки, где порядок количественной интерпретации можно было принять одинаковым.

Судя по данным, полученным при зондированиях, кривые ВЭЗ в подавляющем большинстве соответствуют трехслойному типу Н. Однако наблюдаются «аномальные» кривые, на которых наблюдаются большие расхождения при переходе с одной линии MN на другую и нижняя часть кривых, соответствующая подэкранному слою, сильно изрезана. Контроль для «нормальной» кривой был проведен другим оператором, с перерывом в две недели, при этом расхождения в кривых заметны только в верхней части кривой, до АВ/2 = 6 метрам. Это допускается инструкцией и легко объяснимо изменением влажности грунта в самой верхней части разреза (до 0,5 м).

«Аномальная» кривая контролировалась в тот же день, но другим оператором. Здесь, наоборот, наблюдается полное совпадение в верхней части кривой, отражающей сопротивление надэкранный толщи и экрана, а в нижней части кривой, отражающей сопротивление подэкранный толщи, фиксируются весьма большие расхождения, не объяснимые с теоретических позиций.

По карте типов кривых заметно, что «аномальные» кривые группируются в целые участки, причем эти участки тяготеют к зонам минимумов потенциала ЕП, хотя не все кривые находятся в их эпицентральных частях. Обычно большие расхождения при переходе с одной линии MN на другую возникают при наличии в разрезе субвертикальных неоднородностей (тектоника, субвертикальные зоны трещиноватости и др.), поэтому, скорее всего «аномальные» кривые связаны с зонами фильтрации в подэкранный толще.

Второй этап включал в себя количественную интерпретацию кривых ВЭЗ с учетом геологических данных по скважинам с целью оценки эффективных удельных электрических сопротивлений (УЭС) геоэлектрических горизонтов и привязки их к конкретным геологическим границам. Интерпретация кривых ВЭЗ проводилась путем моделирования параметров разреза с помощью интерпретационной системы SONET.

Для количественной интерпретации кривых ВЭЗ УЭС грунтов разреза можно определить, используя формулу Арчи (Огильви, 1990):

$$\rho_{пв} = P \cdot \rho_{в},$$

где $\rho_{пв}$ - УЭС водонасыщенной породы, $\rho_{в}$ - УЭС поровой воды, P - относительное сопротивление (параметр пористости), связанный с пористостью соотношением:

$$P = a / (k_{п})^m.$$

Здесь $k_{п}$ - коэффициент пористости, a - структурный коэффициент (a = 0.5 - 1.0), m - показатель цементации (m = 1.3 - 2.2).

По результатам химических анализов проб отходов в отстойнике общая минерализация их составляла в среднем 100 г/л. Коэффициент пористости для насыпного грунта ($k_{п}$) изменяется в широких пределах, поэтому в данной ситуации его можно оценить, используя значения сейсмических скоростей, полученные при сейсморазведочных работах.

Известно (Бондарев, 1997), что для песчаных грунтов зависимость между $k_{п}$ и скоростью продольной волны V_p имеет вид:

$$k_{п} = [3,2218 / (V_p)^{1/2}] + 0,198,$$

при условии, что величина $k_{п}$ изменяется в пределах от 0,282 до 0,415.

Таблица

Данные бурения скважин на чаше отстойника

Параметры	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3
Глубина до пригрузочного слоя (м)		4,4	
Глубина кровли глиняного экрана (м)	5,6	5,4	4,6
Глубина подошвы глиняного экрана (м)		6,3	4,9
Состав подэкранный толщи	Песок	Песок	Коричневый суглинок с прослоями песка

Если взять среднее значение скорости прямой волны в верхней толще 200 м/с (см. ниже), то значение коэффициента пористости $k_{п}$ получим равным 0,4.

По графику зависимости $\rho_{в}$ от концентрации раствора для вод из скважин в районе отстойника определено, что для минерализации раствора 100 г/л значение $\rho_{в} = 0,14$ Ом м. При изменении структурного коэффициента «a» и показателя цементации m в формуле Арчи в указанных выше пределах изменение параметра пористости P составит 1,6 - 7,5 и УЭС водонасыщенной породы $\rho_{пв} = 0,23 - 1,05$ Ом м. Если использовать величину параметра пористости P = 7,6 - 6,7 для слабосцементированных песчаников (Латышова и др., 1975), то величина $\rho_{пв}$ составит 0,9 - 1,1 Ом м.

Для интерпретации также использовались геологические данные, полученные при бурении трех скважин на засыпанной части отстойника (табл.). Однако подбор кривых по этим данным показал, что, несмотря на очевидный трехслойный вид кривых ВЭЗ, при использовании сопротивления среднего низкоомного слоя 0,9 - 1,1 Ом м глубины до подошвы глиняного экрана получаются сильно заниженными (до 2,5 м).

Точнее всего и с глубинами, соответствующими данным по скважинам, кривые подбираются, если их рассматривать как четырехслойные типа QH с градиентным изменением сопротивления низкоомного слоя. Например, по ближайшим к скв. 2 пунктам ВЭЗ были получены следующие геоэлектрические разрезы:

ВЭЗ № 55

УЭС, Ом м	H, м
128,27	1,2
5,09	2,2
0,9	2,8

ВЭЗ № 56

УЭС, Ом м	H, м
41,59	1,57
5,6	2,2
0,9	2,8

25,4	
------	--

42	
----	--

Средние относительные погрешности подбора кривых составили: по ВЭЗ № 55 - 2,3%, по ВЭЗ № 56 - 2,7% при максимальных расхождениях в одной точке не более 4,7 %.

Исходя из полученных данных, при дальнейшем моделировании за основу мы взяли четырехслойный разрез, примерно приближая его к указанным параметрам. Глубины 1,2 – 1,6 м, видимо, следует относить к поверхности отходов, хотя сопротивление грунта, насыщенного отходами, в 5 – 6 Ом м (а для некоторых кривых и выше – до 10 Ом м) следует считать завышенными. Такое завышение УЭС можно объяснить особенностями насыпных грунтов, для которых при смачивании при небольших давлениях характерно защемление воздуха в порах, что ведет к возрастанию сопротивления грунта. Это явление было доказано и лабораторными исследованиями при работах в Лагерном саду г. Томска (Гусев и др., 2003).

При обработке данных сейсморазведки МПВ по полевым сейсмограммам после их редакции и соответствующей фильтрации проводилась корреляция первых вступлений и разделение полученных осей синфазности на годографы прямой и преломленной волны. По годографу прямой волны определялась скорость в верхнем слое (до преломляющей границы), а по встречным годографам преломленной волны методами t_0 и полей времен определялось положение границы и граничная скорость. Анализ глубин показал, что значения, определенные разными методами, различаются не более, чем на 0,1 м. При построении карты изоглубин вычислялась средняя глубина.

По данным сейсморазведки значения скоростей прямой волны изменяются от 170 до 240 м/с. Эти значения характеризуют верхнюю толщу, нижней границей которого, по видимому, является пригрузочный слой на кровле глинистого экрана. Низкие значения скоростей указывают на отсутствие воды в верхней части, хотя это противоречит имеющимся данным.

Граничная скорость изменяется в пределах от 700 до 1600 м/с и характеризует водонасыщенность и уплотненность пригрузочного слоя. Сравнительно низкие скорости (800 м/с и меньше) указывают на малую водонасыщенность или разуплотненность слоя. Повышение граничных скоростей соответствует областям распространения более водонасыщенных или уплотненных пород.

Глубины до преломляющей границы изменяются от 3,5 до 6 метров. Сопоставление глубин с разрезами имеющихся скважин позволяет отождествить преломляющую границу с кровлей пригрузочного слоя.

Изменение скоростей прямой волны в надэкранной толще следует рассматривать в зависимости от степени уплотнения насыпного грунта, представляющего собой коллектор с межзерновой пористостью. Для таких коллекторов наблюдается наиболее тесная зависимость скорости продольных волн от пористости, поскольку сдвиговая (контактная) упругость агрегата больше объемной упругости и влияние насыщающего флюида незначительно. При коэффициенте пористости $K_{II} = 0 - 0,05$ скорость изменяется в 3 – 4 раза интенсивнее, чем при $K_{II} = 0,05 - 0,4$. В нашем случае средний коэффициент пористости насыпного грунта был оценен в 0,4 (см. выше), поэтому при изменении скорости прямой волны в пределах 170 – 240 м/с, коэффициент пористости должен изменяться значительно.

Следует отметить аномально низкие скорости продольной волны в надэкранной толще. По геологическим данным, глубина УГВ (минерализованного раствора) – не более полуметра, по результатам количественной интерпретации кривых ВЭЗ – от 0,8 до 1,7 метра. Если считать насыпные грунты полностью водонасыщенными, то скорости продольных волн должны быть в 4 – 5 раз выше – порядка 800 – 1000 м/с. Полное водонасыщение грунтов доказывает и тот факт, что при попытке регистрации поперечных волн на отстойнике скольнибудь удовлетворительной волновой картины получить не удалось (известно, что в водной среде поперечные волны не распространяются).

Объяснение факту значительного занижения скоростей в верхней толще (насыпной грунт), очевидно, также следует искать в газозаванности грунта. Как это показано в работе (Ищенко и др., 1983), при коэффициенте пористости 0,3 насыщение песчаного газом ведет к уменьшению скорости продольной волны в 10 раз.

Кроме того, известно (Сейсморазведка..., 1990), что на акваториях морей существует специфическая зона малых скоростей, основными компонентами которой являются придонные илы, пески и алевриты. Илы представляют собой желеобразные осадки со средней плотностью 1,14 – 1,42 г/см³, содержащие песчаную и алевритовую фракции и большое количество органического вещества, наличие которого часто определяет их высокую газозаванность и, как следствие, существенное понижение скорости V_p в придонных отложениях. При содержании в породе газовых включений по объему до 0,5 – 1 % значение V_p составляет 100 – 150 м/с. При увеличении объема газовой фазы до 2 % и содержании воды в песчано-алевритовых осадках 10 – 20 % V_p уменьшается до 55 м/с.

Исходя из полученных данных, можно отметить следующее. При проведении геофизических исследований на насыпных грунтах необходимо учитывать возможную газозаванность верхней части водонасыщенной толщи, из-за которой наблюдается завышение УЭС и появляется дополнительный слой на кривых ВЭЗ с градиентным изменением сопротивления. При этом происходит значительное уменьшение сейсмических скоростей в зоне полного водонасыщения, что резко снижает возможности сейсморазведки для прослеживания уровня грунтовых вод. Причинами газозаванности грунтов могут быть либо защемление воздуха в порах грунта при его отсыпке, если воды пресные и нейтральные, либо геохимические реакции с выделением газов при засыпке отстойников с промышленными отходами.

Литература

1. Бондарев В. И. Сейсмический метод определения физико-механических свойств нескальных грунтов: Научное издание. - Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1997.–220 с.
2. Гусев Е.В., Ерофеев Л.Я., Зубков А.А. Методика геофизического мониторинга состояния экранов поверхностных хранилищ жидких радиоактивных отходов // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Тр. Всероссийского науч.-техн. совещ. – Томск: ТПУ, 1996. –С. 120 – 121.

3. Гусев Е.В., Ерофеев Л.Я., Сухоруков В.А. Возможности геофизического мониторинга открытых хранилищ жидких промышленных отходов // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск, 2000.–Т. 2. – С. 466 – 467.
4. Гусев Е.В., Забродина Н. А., Абатурова О.А. Изучение оползневых процессов геофизическими методами в районе Лагерного сада (г. Томск) // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Матер. Всероссийской науч.-техн. конфер., посвящ. 100-летию со дня рождения Д.С. Микова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.– С. 281 – 285.
5. Ищенко В.И., Кузнецов О.Л. Основные акустические характеристики и их связь со свойствами пласта //Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика. –М.: Недра, 1983. – С.158 –164.
6. Латышова М.Г., Вендельштейн Б.Ю., Тузов В.П. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин.- М.: Недра, 1975.
7. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. –М.: Недра, 1972. –320 с.
8. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990.–501 с.
9. Сейсморазведка: Справочник геофизика / Под ред. В.П. Номоконова. – М.: Недра, 1990. – кн. 1. – 336 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕТРОАКУСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ Б.В. Белозёров

Научный руководитель доцент Г.Г. Номоконова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Эффективность изучения месторождений углеводородов в значительной степени зависит от петрофизической обеспеченности процесса интерпретации данных геофизических исследований скважин, разработанности петрофизических моделей коллекторов. Петрофизическая изученность месторождений Западной Сибири значительно превышает изученность других регионов Сибири. Остаётся актуальным вопрос: в какой мере петрофизические закономерности, полученные на хорошо разведанных месторождениях, могут быть перенесены на малоизученные территории?

В настоящей работе излагаются результаты сопоставления акустических моделей пористости терригенных коллекторов Собинского и Оморинского месторождений Байкитской нефтегазоносной области (НГО) и месторождений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Крапивинского, Ломового и др.). Сравнимые коллекторы имеют близкий литологический состав и глубины залегания. Различаются они по возрасту (меловые и вендские), а также по термодинамическим условиям. Коллекторы месторождений Байкитской НГО характеризуются аномально низкими пластовыми температурами (порядка 30 °С), пониженными пластовыми давлениями (18 – 20 МПа), а также высокой минерализацией пластовых вод (более 200 мг/л).

Петрофизические уравнения для месторождений Байкитской НГО были получены автором в результате статистической обработки измерений физических свойств пород-коллекторов. Для месторождений Западно-Сибирской плиты (Томская область) были взяты уравнения, обычно используемые в практике геофизических работ (рис., табл.). Сравнительный анализ полученных и используемых уравнений позволил сделать следующие заключения.

На исследованных месторождениях наблюдаемым значениям интервального времени прохождения продольной упругой волны (ΔT) и коэффициента открытой пористости (K_n) коллекторов соответствует линейное уравнение связи:

$$\Delta T = a \cdot K_n + b, \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты уравнения. В случае двухфазных сред – коэффициенты уравнения (1) зависят от интервальных времён прохождения волны для жидкой ($\Delta T_{ж}$) и твёрдой ($\Delta T_{тв}$) фаз (Добрынин и др., 1991):

$$a = \Delta T_{ж} - \Delta T_{тв}; \quad b = \Delta T_{тв} \quad (2).$$

Судя по опубликованным данным (Семенов и др., 2003, Элланский, 2001), а также по результатам петрофизических измерений на изученных месторождениях, за средние значения ΔT в интересующих нас средах можно принять (в мкс/м): для песчаника – 170, доломита – 142, глины – 240, воды – 610. Подстановкой этих значений в уравнения (1, 2) можно получить теоретическую модель пористости двухфазной среды. Именно таким образом были составлены уравнения, используемые при оценке пористости на Собинском и Оморинском месторождениях.

Уравнения, полученные на основе статистической обработки экспериментальных петрофизических данных (экспериментальная модель), существенно отличаются от теоретической модели по значениям коэффициентов в линейном уравнении.

Таблица

Сравнение петрофизических уравнений изученных месторождений

Свита, возраст	Месторождение, порода-коллектор	Петрофизическое уравнение	δ^*
Васюганская, юра (Ю ₁)	Крапивинское	$\Delta T = 5K_n + 175$	60
	Ломовое	$\Delta T = 4.89 K_n + 180.6$	49
	Средневазюганского мегавала	$\Delta T = 5.1K_n + 173$	70
Ванаварская, венд	Собинское:		
	песчаник	$\Delta T = 3.545K_n + 168.9$	-85
	глинистый песчаник	$\Delta T = 2.591K_n + 196.6$	-180
	доломитистый песчаник (доломита < 7%)	$\Delta T = 3.79K_n + 164.6$	-61
	песчаник палеокарста		134

		$\Delta T = 5.739K_n + 155.3$	
--	--	-------------------------------	--

$\delta^* = a \cdot 100 + 170 - 610$ – отклонение $\Delta T_{ж}$ от теоретического.

Скорее всего, реальный коллектор изученных месторождений не является двухфазной средой. Использование линейного приближения уравнения В.Н. Дахнова, вводящего третий слой (глины, доломит) частично решает проблему, так как объясняет изменение коэффициента «*b*» (уменьшение при доломитизации и увеличение при глинизации):

$$b = \Delta T_{ск} + k_{гл} (\Delta T_{гл} - \Delta T_{ск}), \quad (3)$$

где $\Delta T_{ск}$ – интервальное время породы-скелета, в нашем случае – песчаника. Данные по коэффициентам «*b*» таблицы показывают, что для коллекторов месторождений Западной Сибири характерной является глинизация, а Красноярского края – доломитизация. Глинизация коллектора не только увеличивает свободный член в уравнении, но и может уменьшать тесноту связи между ΔT и K_n (рис.), то есть можно поставить под сомнение необходимость применения акустического каротажа при оценке емкостных свойств коллектора.

Однако наибольшее отличие экспериментальных моделей от теоретической наблюдается по коэффициенту «*a*», характеризующему чувствительность ΔT к пористости. По этому же коэффициенту коллекторы васюганской свиты (завышенные значения коэффициента и повышенная чувствительность ΔT к K_n) принципиально отличаются от коллекторов ванаварской свиты (противоположные отклонения, табл.). При подстановке в коэффициент «*a*» данных теоретической модели получаются нереальные значения интервального времени поровой воды. Для коллекторов, содержащих глины, автор предлагает модель «акустической» пористости, соответствующую трёхфазной среде: твёрдая фаза (песчаник-скелет + глина), свободная вода и связанная вода (на поверхности глины):

$$a = \Delta T_{ж} (1 - k_{в,св}) + \Delta T_{в,св} \cdot k_{в,св} - \Delta T_{ск}, \quad (4)$$

где $k_{в,св}$ – коэффициент связанной воды. Согласно М.М. Элланскому, интервальное время связанной на поверхности глины воды ($\Delta T_{в,св} = 750$) больше, чем свободной.

Таким образом, предлагаемая модель с трёхфазной средой, учитывающая аномальные свойства связанной воды, более удовлетворяет экспериментальным данным, чем ранее использовавшиеся модели. Из неё следует, что неупругость глинистых коллекторов обусловлена как повышенной неупругостью (за счёт глины) твёрдой фазы (модель Дахнова), так и повышенной сжимаемостью пор и связанной воды. В целом же выявленная проблема ещё не решена, поскольку связанная (капиллярно удержанная) вода в карбонатах не обладает аномальными свойствами (Добрынин, 1991) и пока неясно, с чем связаны низкие интервальные времена для воды в коллекторах Байкитской НГО. На экспериментальных данных конкретных месторождений следует изучить также влияние формы выделения и состава глины на упругость коллектора.

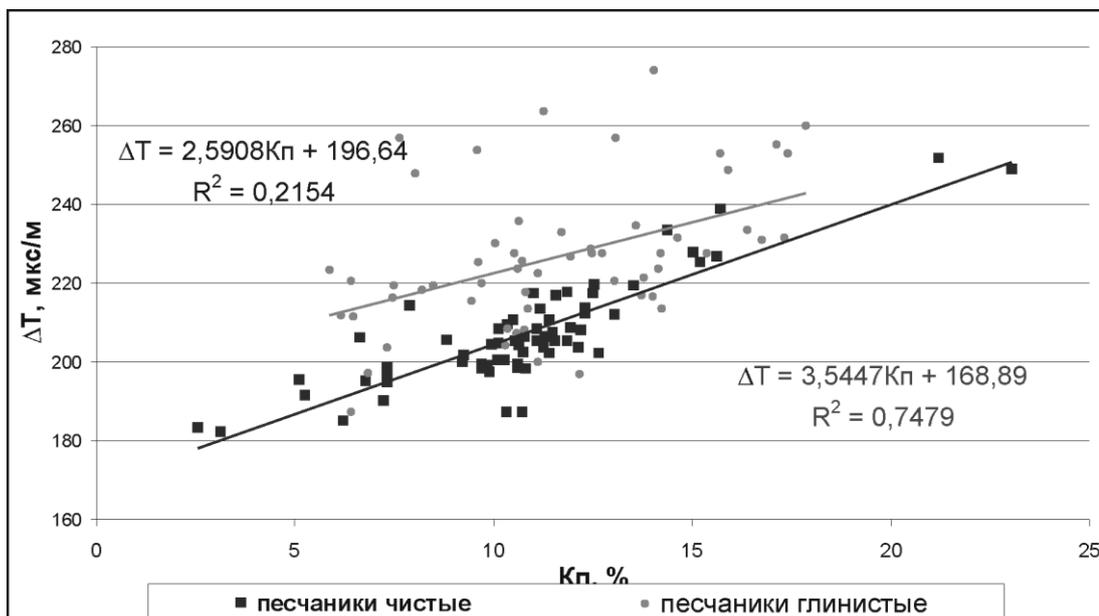


Рис. Петрофизическая модель Собинского месторождения

Литература

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
2. Семёнов Е.В., Батырова Д.Р., Сулейманов М.А. Количественная оценка литоемкостных свойств коллекторов по комплексу методов радиоактивного и акустического каротажа // Каротажник. – Тверь, 2003. – №111–112. – С. 85–97.
3. Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин. – М.: ГЕРС, 2001. – 229 с.

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ КЕРНА И ШЛАМА НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗА СКВ. № 1 СЕВЕРО-ВАНКОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.И. Бочаров¹, Ю.М. Столбов²

Научный руководитель профессор. Л.Я. Ерофеев¹

¹Томский политехнический университет, г. Томск

²ТФ ФГУП «СНИИГГиМС», г. Томск, Россия

На базе Томского исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т создана специальная аналитическая установка МЗН-1М, которая позволяет измерять содержание урана по запаздывающим нейтронам, возникающим при распаде осколков деления ядер урана. Установка позволяет измерять содержания урана в горных породах в диапазоне 10^{-5} – 10^{-2} %. Уран принимает активное участие в процессах наложенного эпигенеза, что позволяет выделять в разрезах глубоких скважин зоны разуплотненных пород (РЗП), в которых возможно накопление углеводородов (УВ).

Детальные ядерно-физические исследования керна и шлама позволяют получить информацию о характере и интенсивности постседиментационных процессов в терригенных породах осадочного комплекса, что существенно для реализации идей флюидодинамической модели нефтеобразования (Соколов и др., 1999).

Согласно флюидодинамической модели нефтегазообразования, процессы флюидомиграции УВ сопровождаются процессами углекислотного метасоматоза, следовательно, при такой высокой точности измерений, которую обеспечивают методы нейтронно-активационного анализа, в разрезе глубокой скважины должна наблюдаться литогеохимическая зональность и закономерное изменение геохимических параметров. Наиболее информативным параметром является величина отношения U/Al_2O_3 , характеризующая геохимическое равновесие между ураном и алюмосиликатными минералами терригенных осадочных пород. В седиментационных процессах, происходящих в хорошо аэрируемой среде, уран находится в равновесии с глиноземом.

Процессы наложенного эпигенеза, протекающие в системе вода–порода–нефть, нарушают геохимическое равновесие между ураном и глиноземом. При этом уменьшение величины U/Al_2O_3 связано с реакциями в системе вода–порода (углекислотный метасоматоз), которые приводят к растворению пород и способствуют образованию дополнительного пустотного пространства, то есть зон разуплотненных пород. Это дает возможность при анализе геохимического равновесия между ураном и алюмосиликатными минералами осадочных пород выделить отрицательные литогеохимические аномалии, характерные для зон аккумуляции УВ (Лебедев, 1992).

В соответствии с флюидодинамической моделью нефтегазообразования, углеводороды мигрируют вместе с углекислотными растворами. При благоприятном стечении обстоятельств зоны развития отрицательных литогеохимических аномалий урана могут быть зонами аккумуляции углеводородных флюидов.

На базе Томского исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т были выполнены детальные ядерно-физические исследования керна и шлама Северо-Ванкорской скважины 1. Методом запаздывающих нейтронов было проанализировано 89 образцов керна и 351 образец шлама (отобранных в интервале 110–4060 м с интервалом 5 м). Керн отбирался из следующих интервалов: 1000,0–1015,0 м (дорожковская свита); 1620,0–1697,4 м (яковлевская свита); 2375,0–2395,6 м; 2420,0–2440,5 м; 2580,0–2639,4 м (суходудинская свита); 2730,0–2790,5 м; 2832,0–2844,0 м и 2913,0–2924,0 м (нижнехетская свита).

Результаты ядерно-физических исследований разреза Северо-Ванкорской скв.1 по образцам керна приведены на рис. 1.

В первой колонке приведены содержания урана и Al_2O_3 , измеренные методом запаздывающих нейтронов на установке МЗН-1М. В последней, третьей, колонке приведены значения отношения U/Al_2O_3 и расчетные содержания алюмосиликатов в пробе, которые принимаются равными $C^{Al-Si} = 2C_{Al}$. Данные, приведенные в этой колонке, дают представление о степени изменения алюмосиликатных минералов пород при углекислотном метасоматозе. Уменьшение значений U/Al_2O_3 от фоновых значений для толщи (свиты) свидетельствует о проявлении процессов метасоматоза, способствующих выносу урана и других элементов, участвующих в формировании зон разуплотнения пород.

В интервале 1000,0–1015,0 м (дорожковская свита) образцы керна представлены сверху вниз чередованием песчаников, аргиллитов и алевролитов. Исследование геохимического равновесия между ураном и алюмосиликатными минералами пород показало, что процессы флюидомиграции оказали достаточно сильное влияние на химический состав пород изученного интервала. Об этом свидетельствует величина отношения U/Al_2O_3 , характер изменения которой показан в третьей колонке рис.1. Отклонение этой величины влево от линии геохимического равновесия свидетельствует об интенсивности преобразований первичных (седиментационных) алюмосиликатов процессами наложенного эпигенеза. Чем больше величина отклонения, тем выше интенсивность реакций наложенного эпигенеза, протекающих в системе вода – порода.

При рассмотрении рис.1 хорошо видно закономерное уменьшение величины отношения U/Al_2O_3 вверх по разрезу изученного интервала. Это обстоятельство позволяет рассматривать верхнюю часть интервала, где преобладают песчаники, как наиболее перспективную для обнаружения скоплений углеводородов.

Интервал 1620,0–1697,46 м (яковлевская свита) характеризуется породами, представленными в основном песчаниками с прослоями аргиллитов и алевролитов.

Наиболее интенсивные отрицательные литогеохимические аномалии характерны для песчаников, расположенных в верхней и нижней частях изученного интервала. К этим зонам разуплотненных пород могут быть приурочены и зоны аккумуляции углеводородов.

Интервал 2580,0–2639,4 м (суходудинская свита) представлен в верхней части песчаниками. Они имеют серый цвет, мелкозернистые структуры, однородные, плотные текстуры. Песчаники карбонатизированы. Карбонатизация пород нарастает вниз по разрезу отложений суходудинской свиты. Накопление углеводородных флюидов скорее всего происходило в верхней части отложений суходудинской свиты.

Ядерно-физические исследования образцов пород нижнехетской свиты показали, что интенсивность постседиментационных преобразований пород сравнительно невелика.

Положительных литогеохимических аномалий в разрезе нижнехетской свиты, которые могли бы указывать на развитие процессов окисления миграционных битумоидов или на их окисление на ВНК, также не обнаружено.

Это можно рассматривать как признак вертикальной миграции углеводородных флюидов и как возможность их аккумуляции в зонах разуплотненных пород дорожковской, яковлевской и верхней части суходунинской свит.

Результаты ядерно-физических исследований разреза Северо-Ванкорской скв.1., выполненных по образцам шлама, показаны на рис.2.

Поскольку в рассматриваемой модели нефтегазообразования миграция УВ-флюидов происходила снизу вверх, результаты исследований шлама целесообразно рассмотреть в том же порядке.

Нижняя часть разреза в интервале 2570–2905 м характеризуется величинами отношения U/Al_2O_3 , близкими к линии геохимического равновесия. Это свидетельствует о слабом влиянии процессов наложенного эпигенеза на химический состав пород. Содержания глинозема в пределах этого интервала меняются незначительно и по величине характерны для аргиллитов.

Выше, в интервале 2495-2560 м происходит опесчанивание разреза. В этом интервале наблюдается развитие отрицательной литогеохимической аномалии, свидетельствующей о существенном влиянии реакций наложенного эпигенеза на химический состав осадочных пород. Такие отрицательные литогеохимические аномалии характерны для зон разуплотненных пород и зон аккумуляции УВ. Этот интервал заслуживает дальнейшего изучения и оценки характера насыщения по материалам ГИС и результатам испытаний.

Если рассматривать закономерное изменение величины отношения U/Al_2O_3 вверх по разрезу, то можно отметить сравнительно слабое развитие отрицательной литогеохимической аномалии в интервале 2195-2490 м. Наиболее вероятно, что это зона сквозной миграции флюидов. Практический интерес может представлять интервал 2255–2285 м, в котором наблюдается наибольшее уменьшение содержаний глинозема и величины U/Al_2O_3 .

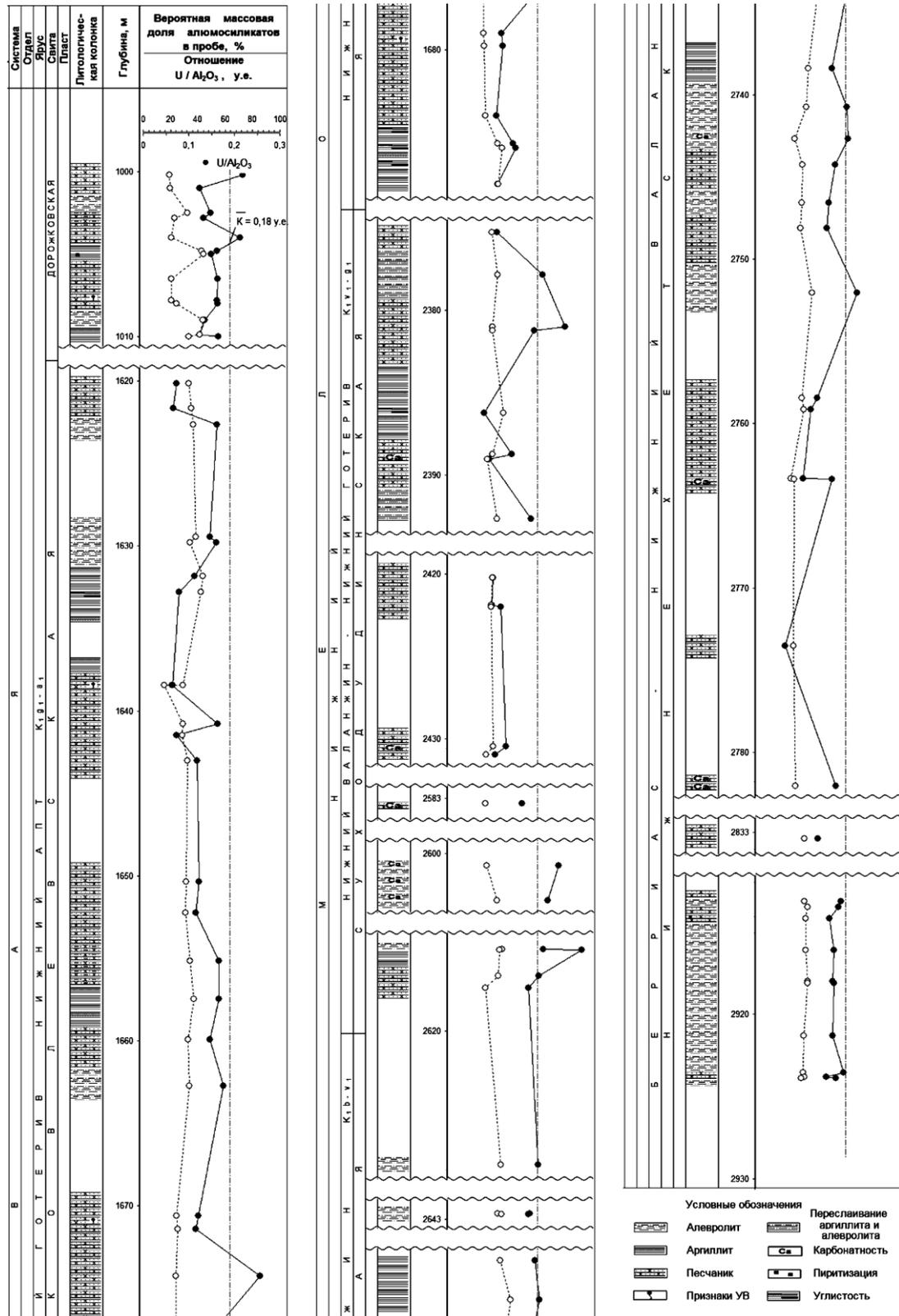


Рис.1. Результаты исследований ядра Северо-Ванкорской скв.1

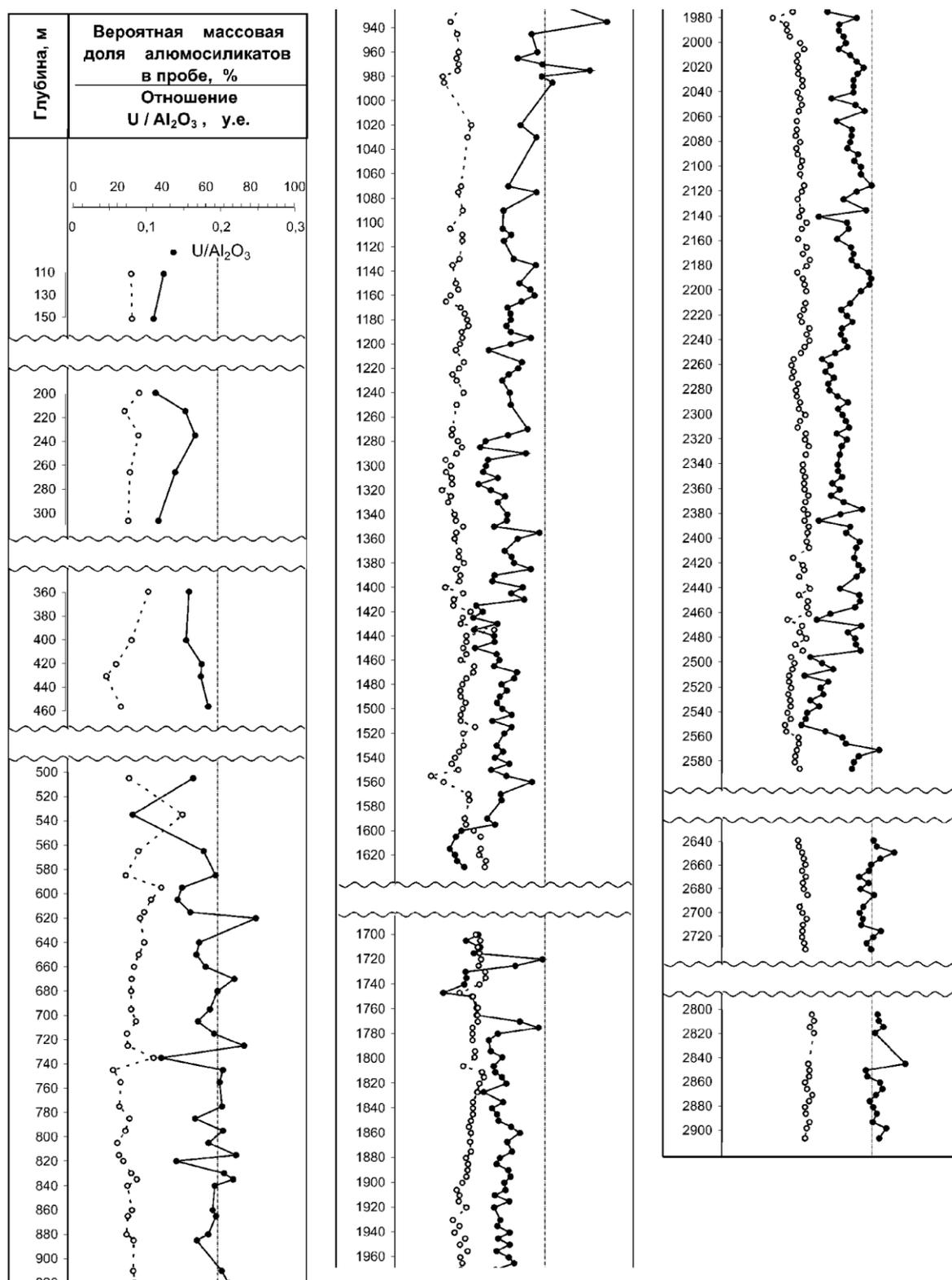


Рис.2. Результаты исследований шлама Северо-Ванкорской скв.1

В центральной части изученного разреза наблюдается закономерное развитие отрицательных литогеохимических аномалий. В верхней части разреза, с глубины 1000 м и выше, отрицательные аномалии практически не наблюдаются. Это может свидетельствовать о непродуктивности верхней части разреза.

По литогеохимическим данным наибольший практический интерес представляют отложения центральной части разреза. Интенсивность процессов наложенного эпигенеза закономерно нарастает вверх по разрезу в интервале 2190–1700 м, а затем постепенно уменьшается в интервале 1630–1000 м. Интересно отметить, что в первом интервале закономерность эта слабо зависит от содержания глинозема в осадочных породах.

В соответствии с рассматриваемой моделью наибольший практический интерес может представлять интервал 1600–1770 м. Все песчаные пласты в этом интервале заслуживают внимательного исследования, поскольку при описании образцов керн, взятых на глубине 1638,4 м, в песчаниках отмечался запах УВ.

В целом, по результатам проведенных литогеохимических исследований разреза Северо-Ванкорской скв.1 можно сделать следующие выводы.

1. Интенсивность процессов флюидомиграции в разрезе скважины была достаточной для формирования зон разуплотненных пород.

2. Наиболее интенсивные отрицательные геохимические аномалии зафиксированы в нижней и центральной части изученного разреза.

3. Особенностью литогеохимических исследований по шлему является то, что такие исследования позволяют охарактеризовать весь разрез. Последнее обстоятельство очень важно для реализации идей флюидодинамической модели нефтегазообразования.

Литература

1. Соколов Б.А., Абля Д.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. –М.: ГЕОС, 1999.–76 с.
2. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. –Л.: Недра, 1992. –239 с.

ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПРИБОРА AVHRR (СПУТНИК NOAA)

Ф.С. Бушланов, А.Г. Чугунов

Научный руководитель профессор М.Ю. Катаев

Томский университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

Для задач мониторинга окружающей среды и получения оперативной информации о состоянии земной поверхности и атмосферы давно используются спутниковые системы наблюдения. Одной из таких систем являются спутники серии NOAA (National Ocean and Atmosphere Administration).

Широкое распространение спутниковых данных приводит к возрастанию их роли в решении задач земного мониторинга. Вместе с тем, свободный доступ к изображениям Земли, полученным со спутников, в настоящее время ограничен. Одним из спутниковых приборов, доступ к данным которого является свободным, является прибор AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer - радиометр высокого разрешения). Однако невысокая разрешающая способность (1x1 км), существенные геометрические и радиояростные искажения изображений, получаемых с приборов AVHRR, установленных на спутниках серии NOAA, затрудняют их непосредственный анализ. Вследствие того, что измерения осуществляются не только в подспутниковой точке, а в некотором угловом раскрытии, возникает задача определения точных географических координат точки, в которой проводилось измерение, а также геометрической коррекции космического снимка. Прибор AVHRR представляет собой космическую цифровую многозональную систему, обеспечивающую получение изображения поверхности Земли в 5 спектральных каналах с пространственным разрешением 1км, радиометрическим разрешением 10 бит (1024 градаций) несколько раз в сутки. Первые два спектральных канала прибора соответствуют видимой области спектра, остальные три – инфракрасной. Так как несколько спутников этой серии одновременно находятся на орбитах, обзор доступен один и тот же участок несколько раз в сутки. Ширина полосы сканирования прибора составляет 2048 точек, количество полос зависит от времени сканирования спутника.

Для решения задач обработки спутниковых данных нами разрабатывается программное приложение SatelliteExplorer, работающее в среде Windows. Приложение позволяет обрабатывать спутниковые данные прибора AVHRR, записанные в формате HRPT. Спутниковые данные в данном формате позволяет принимать и записывать оборудование российской фирмы SCANEX.

На первом этапе производится открытие и дешифровка файлов спутниковых данных. Этот этап выполняется с использованием информации о формате хранения данных HRPT, файлы с данными в этом формате формирует оборудование приемной станции.

На следующем шаге происходит калибровка данных. Калибровка данных – это переход от величин, непосредственно измеряемых прибором, к реальным физическим величинам в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе (Источник...,2004). Такой переход обусловлен тем, что при формировании значений, регистрируемых прибором AVHRR, не учитывается ряд важных составляющих, необходимых для правильной интерпретации значений. В процессе калибровки учитываются такие факторы, как индивидуальные характеристики прибора AVHRR, которым было произведено измерение. Эти характеристики определяются перед запуском спутника на околоземную орбиту и их значения известны в процессе работы прибора. Кроме того, учитывается состояние космического пространства вокруг прибора в момент его работы. Можно выделить 2 принципиально различных алгоритма калибровки. Первый из них разработан для калибровки спутниковых данных, полученных в видимой области спектра (каналы 1 и 2). Второй алгоритм предназначен для калибровки спутниковых данных каналов, расположенных в инфракрасной области (каналы 3, 4, 5). После калибровки данные первого и второго каналов характеризуют отражательную способность земной поверхности (альбедо) в каждой точке изображения в видимой области спектра. В инфракрасной области спектра в результате калибровки данные представляют собой излучательную способность земли или яркостную температуру.

Следующим необходимым шагом является географическая привязка изображения. Перед началом обработки спутниковой фотографии необходимо привести ее к необходимому виду картографической проекции. Кроме того, возникает задача определения точных географических координат каждой точки изображения на спутниковой фотографии, иначе дальнейший анализ будет иметь мало смысла. Сложность данной задачи заключается в том, что алгоритм вычисления координат должен применяться к каждой точке изображения (в идеале) или с некоторым шагом,

обеспечивающим приемлемую точность интерполяции. Для получения координат любой точки земной поверхности на снимке применяется орбитальная модель SGP4SDP4. Данная модель позволяет вычислить координаты подспутниковой точки.

В основе теории вычисления местонахождения спутника лежит предположение о том, что мы имеем достаточно данных для точного построения его орбиты. Эти данные называются «вектором спутника» и поставляются в виде TLE файла (two line element - двухстрочный набор) организацией NORAD.

Сбор данных производится посредством одновременного наблюдения спутника с разных точек земной поверхности. Чтобы создать набор орбитальных элементов, сначала нужно собрать результаты наблюдения за объектом. Фирма NORAD, отвечающая за отслеживание всех антропогенных объектов на околоземных орбитах, использует Космическую Сеть Наблюдений (SSN, Space Surveillance Network), чтобы собирать эти данные. Эта сеть состоит из радиолокационных датчиков для наблюдения за околоземными объектами (высотой ниже примерно 6000 километров) и электророптических датчиков для наблюдения объектов глубокого космоса (высотой более 6000 километров). Эти датчики географически распределены по всей Земле, чтобы обеспечить глобальный охват.

В случае идеальной орбиты основные орбитальные элементы являются константами. То есть высота орбиты, эксцентриситет, наклонение, и ориентация орбиты в пространстве постоянны. В реальной жизни, однако, возмущения орбиты неоднородностями плотности Земли и атмосферным торможением вызывают флуктуации орбиты спутника. Поэтому эти наборы данных время от времени уточняются (когда требуется уточнение - рассчитывается группой NORAD) и доступны через Интернет.

Таким образом, зная все орбитальные элементы спутника, мы можем сказать, где он находится в любой момент времени.

Для вычисления подспутниковой трассы применялась теория орбитального предсказания, разработанная в 1970 г. фирмой NORAD и известная как SGP (Simplified General Perturbation - упрощенные общие возмущения). Данная модель является достаточно точной, так как учитывает много факторов, воздействующих на спутник во время его движения по орбите, таких как атмосферное торможение спутника, неравномерность распределения массы Земли (неправильную сферическую форму) и др.

Дальнейшим развитием этой идеи была модель SGP4, которая разрабатывалась для помощи радиолюбителям и астрономам в нахождении и наблюдении спутника относительно их месторасположения. Т.е. если производить расчеты по данной модели, то можно получить азимут, угол места и скорость спутника, чтобы можно было наблюдать спутник либо наводить антенну для приема информации. В данной работе эта модель используется для определения географических координат подспутниковой точки, для дальнейшей привязки её к спутниковой фотографии и, таким образом, определения координат любого объекта на изображении.

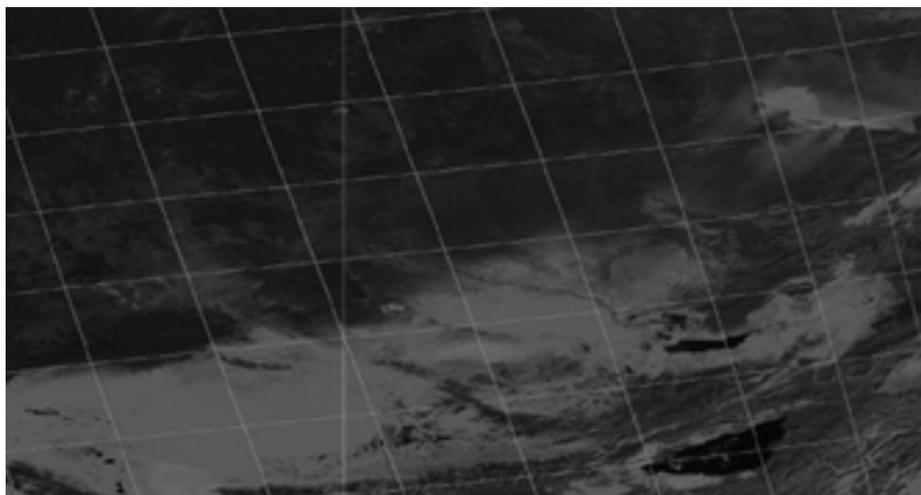


Рис. 1. Пример расчета координат для спутникового изображения (координатная сетка и подспутниковая трасса)

Описанный выше метод географической привязки подходит для любого спутника. В данной работе он использован для определения местонахождения спутников серии NOAA и дальнейшей обработки поступающей с них информации.

После вычисления географических координат точек снимка спутниковое изображение приводится к необходимому виду картографической поверхности. На этом этапе необходимой подготовки спутниковых данных к дальнейшему анализу завершается, и пользователь имеет возможность продолжить изучение земной поверхности алгоритмами тематической обработки.

Тематическая обработка спутниковых данных позволяет выявить характеристики земной поверхности, непосредственно не фиксируемые прибором. Используя данные прибора AVHRR, можно решать задачи определения типа земной поверхности, определения индекса вегетации по различным алгоритмам, температуры подстилающей поверхности Земли, а также детектирование облачности в атмосфере и многие другие.

Индекс вегетации NDVI, рассчитываемый с использованием данных видимой области спектра (первого и второго каналов изображения) используется для определения величины насыщения растительностью земной поверхности и позволяет с некоторой вероятностью определить тип этой поверхности. Величина индекса может быть рассчитана с применением различных алгоритмов, описанных в (Yann, 2004). Использование нескольких алгоритмов

обусловлено различной чувствительностью индексов к различным типам земной поверхности. Для индекса вегетации характерно то, что при возрастании величины индекса тип земной поверхности меняется в порядке насыщения земной поверхности растительностью. Для классификации земной поверхности по указанным типам применяются границы величины индекса, позволяющие относить точку поверхности к тому или иному типу. Следует отметить, что на величину полученного индекса влияют такие мешающие факторы, как облачность.

Температура подстилающей поверхности (LST) позволяет классифицировать земную поверхность по температурным признакам. Это может быть полезно при выявлении температурных аномалий, таких как пожары, а также судить о наличии воды на земной поверхности, облачности в атмосфере, различных загрязнений. Так, по температурным признакам на снимке можно выделить пожары, реки, зоны возможной облачности. Алгоритмы расчета данного индекса могут быть различны, ряд из них в свою очередь базируется на нормализованном индексе вегетации (Domenikiotis, 2003).

Выделение облачности на космических снимках помогает отделить участки безоблачности, на которых имеет смысл проводить дальнейшие исследования, на участках с облачностью результаты по большей части не будут иметь смысла. Расчет производится с использованием преимущественно данных инфракрасной области спектра и не позволяет выявить всю облачность, тем не менее, большая часть облаков может быть распознана. Сложности с детектированием облачности могут возникнуть при наличии определенных типов облаков (не плотных и не имеющих большой высоты). Алгоритмы определения облачности на космических снимках могут иметь различный характер, исследования в этой области носят незаконченный характер. Основным и самым распространенным критерием, по которому классифицируются участки облачности на космических снимках, является значение яркостной температуры в данных 4 и 5 каналов.

Важной частью обработки и анализа спутниковых данных является создание и анализ новых индексов. Становится возможным визуализация комбинаций различных каналов в цветовой гамме, что открывает новые возможности для исследований. В пример можно привести алгоритм определения облачности, описанный в (Sakellariou, 2004). Алгоритм работает на выявлении областей, соответствующих облачности, на плоскости, построенной на значениях двух новых каналов, полученных из исходных путем преобразований.

Следует отметить, что рельеф местности, данные о которой получает прибор, значительно влияет на величины, фиксируемые прибором. Для более точного расчета получаемой интенсивности можно учесть некоторые характеристики отражающей поверхности, в частности, ее наклон и поворот по отношению к точке зрения спутника. Для коррекции данных используются данные о рельефе в формате SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission), собранные шаттлом Endeavour и предоставляемые NASA в свободном доступе. Эти данные содержат сетку высот большей части поверхности Земли с высоким пространственным разрешением (около 1 метра по высоте и 30 метров по широте и долготе) и охватывают около 80 процентов земной поверхности, за исключением территорий, расположенных рядом с полюсами. Данные о рельефе позволяют строить трехмерные изображения земной поверхности, эффективнее анализировать русла рек, озера, горные массивы и другие подобные объекты.

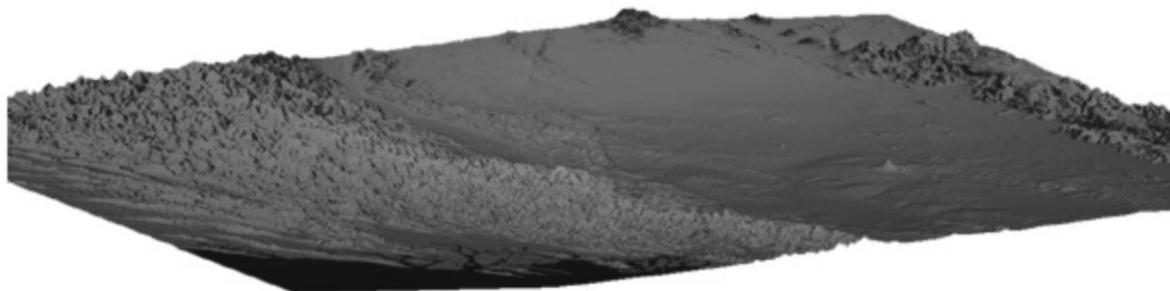


Рис. 2. Пример визуализации трехмерного рельефа для расчета параметров угла зрения (без усреднения)

Для большей наглядности и реалистичности фотографий, полученных со спутника, они могут быть наложены на трехмерный ландшафт местности. Для этого ландшафт предварительно должен быть приведен к масштабу изображения (усреднен). Такое наложение также может быть использовано для коррекции спутникового изображения по координатам (всегда неизбежен сдвиг из-за погрешностей расчета координат).

Созданное авторами программное приложение SatelliteExplorer эффективно решает многие задачи мониторинга земной поверхности, является мощным инструментом исследователя с возможностями, недоступными в программах-аналогах.

Литература

1. Источник в сети Интернет <http://www2.ncdc.noaa.gov>.
2. Yann H. Kerr. Land surface temperature retrieval techniques and applications (case of AVHRR). –Jean Pierre Lagouarde INRA.
3. Domenikiotis C., Loukas A., Dalezios N.R. The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2003. – № 3. – p. 158 – 165.
4. Sakellariou N.K., Leighton H.G. Identification of cloud-free pixels in inhomogenous surfaces from AVHRR radiances // Journal of geophysical research. – 1993. – Vol.3. – №. 5. – p. 26 – 30.

ОТРАЖЕНИЕ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ РАЗРЕЗА В ЕГО ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

М.А. Гардава, А.А. Осипенко
 Научный руководитель доцент Г.Г. Номоконова
 Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Геофизические исследования скважин (ГИС) являются обязательной составляющей геолого-разведочного процесса на нефтеперспективных территориях. Накоплен громадный материал о петрофизических характеристиках изученных разрезов.

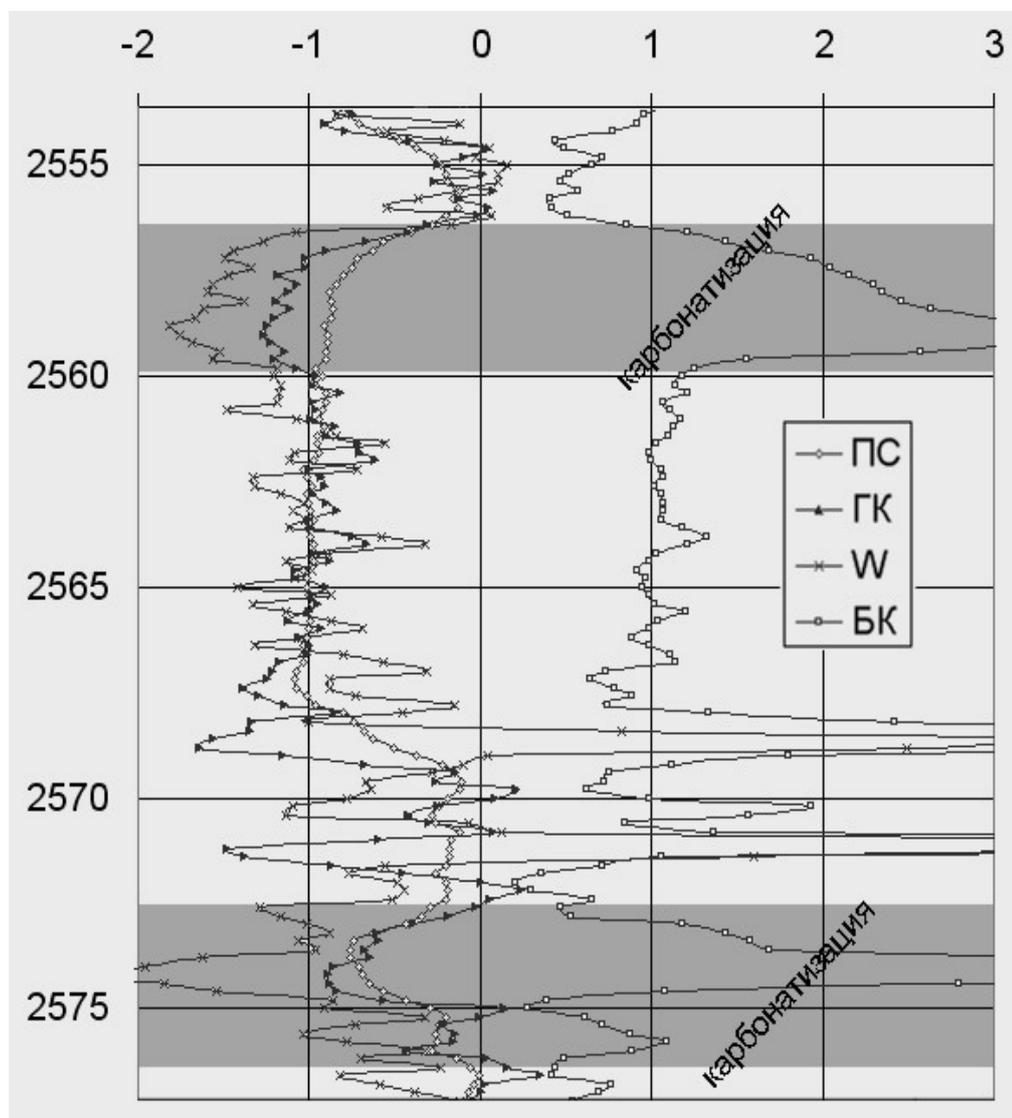


Рис. Изменение относительных петрофизических параметров по интервалу разреза продуктивной скважины Мыльджинского месторождения. По вертикали – глубина в метрах, по горизонтали – относительные единицы

Однако использование этого материала по традиционной схеме выделения коллектора по диаграммам ГИС с последующим тщательным анализом геофизических (петрофизических) данных для оценки качества коллектора и его нефтегазоносности может считаться оптимальным лишь с точки зрения быстроты, но не глубины извлечения геологической информации из геофизических данных. Остаётся невыясненным вопрос: в какой мере петрофизическая характеристика разреза в целом указывает на его нефтегазопродуктивность?

Исследованы цифровые материалы ГИС по двум разрезам скважин разной продуктивности Мыльджинского газоконденсатного месторождения и каротажные диаграммы по Крапивинскому, Приобскому и Игольско-Таловому нефтяным месторождениям юга Западной Сибири. Анализируются следующие петрофизические параметры: естественная гамма-активность (ГК), водородосодержание (по данным нейтронного каротажа – W), кажущееся удельное электрическое сопротивление (БК) и самопроизвольная электрическая поляризация (ПС). Был проведён статистический анализ цифровых материалов, а также нормирование кривых (вычисление относительных значений параметров) с помощью обычного в практике ГИС использования двух опорных пластов: типичные глины и типичные песчаники. Для всех петрофизических параметров были выбраны одни и те же опорные пласты.

Исследовались корреляционные и пространственные соотношения между физическими параметрами, отклонения от обычных (конституционных) взаимоотношений между ними, характер этих отношений в продуктивных и

непродуктивных разрезах и частях разрезов, положение относительно нефтеносных и водоносных коллекторов и региональных флюидоупоров. Результаты исследований заключаются в следующем.

В изученных разрезах наблюдаются петрофизические изменения (аномалии), которые можно считать эпигенетическими, связанными с воздействием углеводородов (УВ) на породы разреза, поскольку петрофизические аномалии закономерно располагаются относительно мест скопления УВ. Такими изменениями являются карбонатизация, аномально высокие пластовые давления (АВПД) и перераспределение в породах радиоактивных элементов, в первую очередь урана. Изменение радиоактивности пород сопровождается первыми два процесса, но развивается и помимо них, занимая большие объёмы пород и «предшествуя» этим процессам на геохимическом уровне.

Карбонатизация выражается в повышении удельного электрического сопротивления, понижении радиоактивности и особенно водородосодержания относительно изменения ПС (рис.). Зоны АВПД выделяются, опять же относительно ПС, понижением удельного электрического сопротивления, повышением водородосодержания и понижением гамма-активности. Если изменения двух первых параметров для зон АВПД обычны, то обнаруженное слабое понижение ГК, скорее всего, связано с понижением сорбционной способности глин в зонах АВПД. Области выноса и накопления радиоактивных элементов сменяют друг друга по разрезу. При этом вынос (понижение радиоактивности относительно ПС) более характерен для коллекторов, особенно нефтеносных, а накопление – для глин выше зоны выноса. По характеру изменения ГК аномально высокая радиоактивность аргиллитов баженовской свиты частично может быть связана с выносом радиоактивных элементов из подстилающих пород (юрских) и отложением их на региональном флюидоупоре, тем более что он представлен битумизированными породами.

Выявленные петрофизические изменения различно проявляются в продуктивном и непродуктивном разрезах скважин. Для продуктивного разреза характерна пониженная радиоактивность, повышенное водородосодержание, широкое развитие зон АВПД (чаще всего под нефтеносными горизонтами), локальное развитие карбонатизации (как правило, на границе коллекторов и глин). Непродуктивные разрезы отличаются более высокими показаниями ГК и пониженным водородосодержанием. Типичным процессом является рассеянная карбонатизация.

Интересны результаты изучения карбонатизации, выявляемой по материалам ГИС. Коллекторы, имеющие в своём составе прослой локальной карбонатизации, так называемые плотняки, имеют более высокие пористость и, особенно, проницаемость, а в случае нефтеносных коллекторов – также нефтенасыщенность. Так в продуктивной скважине Мыльджинского месторождения в меловом коллекторе, вмещающем карбонатный прослой, коэффициент проницаемости высокий (600-820 мД). Характерно, что этот нефтеносный коллектор располагается над мощной зоной АВПД. Проницаемость коллекторов остальной части разреза в 2-6 раз ниже.

Таким образом, петрофизическая характеристика разреза несёт информацию о его нефтегазопроductивности и должна использоваться для целей прогноза.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОБРАТНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Е.О. Задонина, А.В. Паршин, В.И. Самарин

Научный руководитель доцент Е.А. Руш

Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия

В настоящее время одним из актуальных направлений обработки площадных геофизических данных является наиболее полное извлечение геологической информации из уже имеющихся геофизических материалов. Типичные представители такого рода данных - гравитационные и магнитные поля, снятые путем интерполяции с карт и пересчитанные на регулярную прямоугольную сеть. Среди геологических задач, решаемых по геофизическим данным, одной из важнейших является выделение и прослеживание тектонических элементов.

Такая информация может быть необходима при проведении геоэкологических и инженерно-геологических работ, геологическом картировании, при изучении глубинного строения территорий, поисках и разведке месторождений нефти и газа, месторождений рудных полезных ископаемых.

В контрастных геологических средах выделение элементов тектоники не представляется сложным - сопровождающие их линейные геофизические аномалии легко выделяются и прослеживаются визуально. Гораздо хуже дело обстоит в слабоконтрастных геологических средах и в тех ситуациях, когда искомые линейные аномалии сопоставимы по уровню с помехами различной природы - геологическими, технологическими, ошибками измерений и т.д. В этих случаях для выделения и прослеживания аномалий, связанных с тектоническими нарушениями, используются статистические приемы обнаружения слабых геофизических аномалий на фоне случайных помех (Левин, 1999).

Для решения подобной задачи авторами в рамках системы ГИС INTEGRO разработана и успешно опробована технология выделения тектонических элементов по геолого-геофизическим данным (рис.), включающая три этапа (Финкельштейн и др., 1999):

- фильтрацию исходного поля с целью выделения компоненты, несущей полезную информацию;
- собственно обнаружение: вычисление статистик по направлениям;
- разработку выделенных аномалий.

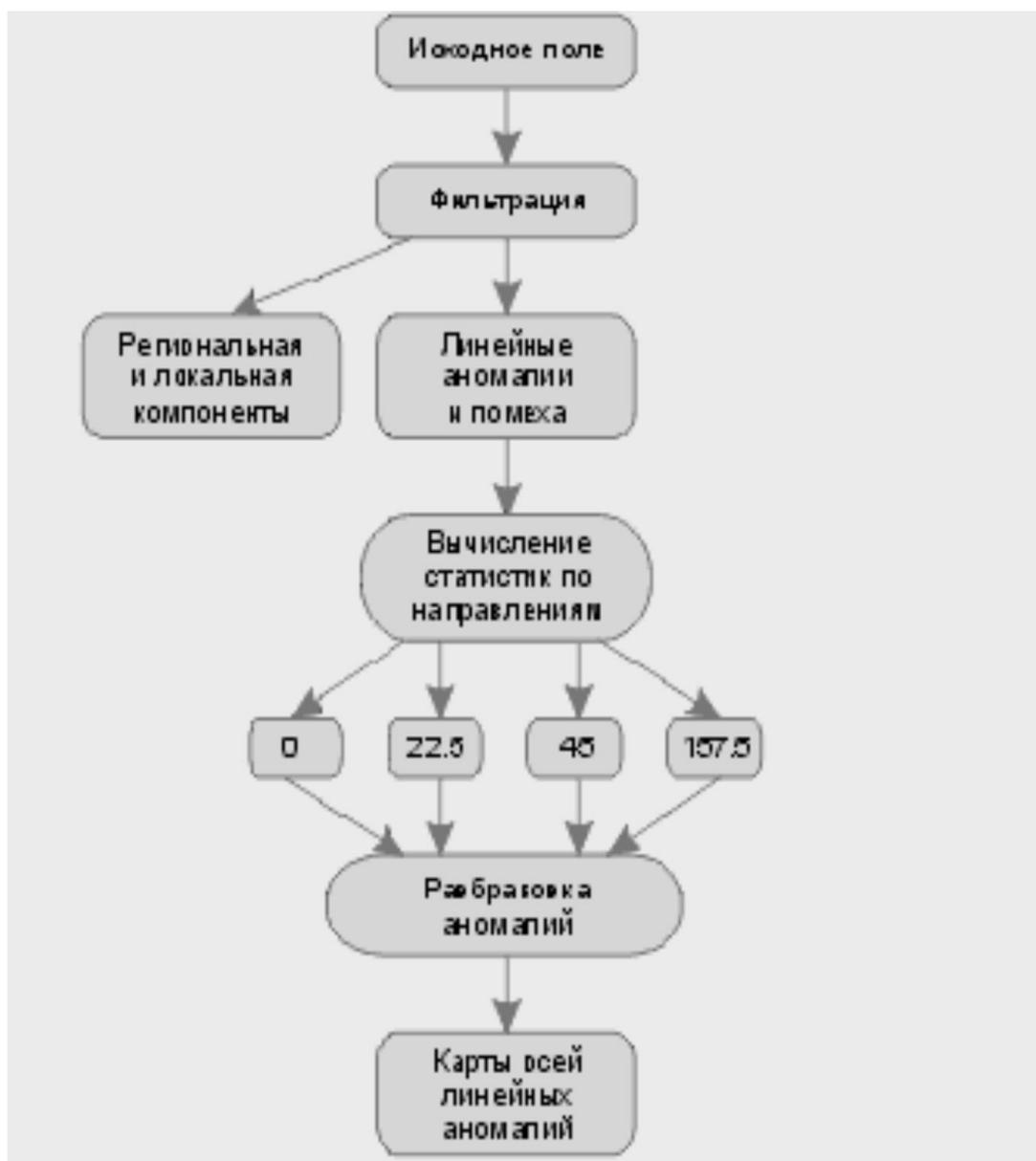


Рис. Технологическая схема выделения тектонических элементов по геолого-геофизическим данным

Основой для выделения компоненты поля, содержащей аномалии, отвечающие выделяемым тектоническим элементам, являются размеры аномалий. Эта задача сводится к выделению наиболее мелких аномалий на фоне региональной компоненты и локальных аномалий. В практике обработки эта компонента часто называется шумом и при обычном подходе не используется (Никитин, 1986).

В определенной исследуемой системе для выделения необходимой компоненты (Блок «Фильтрация») можно использовать такие методы фильтрации, как осреднение, треугольный фильтр, энергетический фильтр и адаптивный энергетический фильтр. Этот набор методов позволяет успешно решать задачу разделения в самых различных ситуациях и в наиболее простых случаях, когда помимо выделяемой компоненты в исходном поле присутствует только плавная региональная компонента и в тех случаях, когда в поле присутствуют локальные аномалии, размеры которых незначительно (в 2-3 раза) превышают размеры искомого аномалий. В процессе обработки небольших по размеру полей применяются фильтры с постоянными весовыми коэффициентами, при этом обработчик имеет возможность задавать форму окна фильтрации соответственно особенностям обрабатываемого поля. При обработке больших полей, статистические характеристики которых изменяются по площади участка, используется адаптивная фильтрация, при которой форма окна и весовые коэффициенты изменяются применительно к характеру поля в окрестности анализируемой точки. В итоге фильтрации исходное поле разделяется на две компоненты, в сумме дающие исходное поле: слабокоррелированную компоненту, содержащую искомые аномалии, осложненные разного рода помехами и более плавную компоненту, содержащую региональное поле и локальные аномалии.

В рамках ГИС INTEGRO для обнаружения линейных аномалий реализованы такие методы, как самоадаптивная фильтрация, непараметрическая адаптивная фильтрация, обратные вероятности и их непараметрический аналог на основе коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Этот набор методов позволяет успешно решать задачу выделения слабых линейных аномалий на фоне помех с различными законами распределения

как при наличии априорной информации о форме искомых аномалий, так и при ее отсутствии. В тех случаях, когда форма аномалий неизвестна, используют способы самонастраиваемой фильтрации (нормально распределенная помеха) или непараметрической адаптивной фильтрации (произвольно распределенная помеха). В тех ситуациях, когда имеется информация о форме искомых аномалий, используют метод обратных вероятностей (нормально распределенная помеха) или ее непараметрический аналог на основе коэффициента Спирмена.

Представленная работа является попыткой применения современных технологий для обработки и интерпретации геофизических данных на основе анализа опубликованных данных в аспекте решения геофизических и геоэкологических задач. В ней рассматривается метод обратных вероятностей, результатом реализации которого станет создание на базе готовой программы прикладного продукта, обладающего возможностью быстро и качественно обрабатывать данные магнитной съемки, отсеивая ненужные шумы (Дэвис, 1977; Никитин, 1986). Продукт реализован с помощью языка программирования Object Pascal и среды Delphi 7.0.

Литература

1. Дэвис Дж. Статистика и анализ геологических данных. –М.:Мир,1977.
2. Левин А.С. Технология выявления тектонических элементов по геолого-геофизическим данным // Лаборатория геоинформатики. – М: ВНИИГЕОСИСТЕМ, 1999.– lab12@geosys.ru.
3. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. –М.: Недра, 1986.
4. Финкельштейн М.Я., Деев К.В., ГИС – INTEGRO – инструмент для создания прикладных систем в природопользовании // Лаборатория геоинформатики. –М.: ВНИИГЕОСИСТЕМ,1999.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КРАЕВОЙ ЧАСТИ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ПРИСАЯНЬЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

С.В. Компаниец, Ю.А. Агафонов

Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия

В данной работе представлены результаты электроразведочных исследований методом ЗСБ, проведенных по Присяно-Ленскому опорному геофизическому профилю партией электромагнитных исследований ФГУГП «Иркутскгеофизика» в 2004-2005 г. Описываемый участок профиля находится на юге Сибирской платформы и простирается от левого берега р. Ангара в районе пос. Балаганск по направлению северо-восток – юго-запад до Восточных Саян. Общая протяженность профиля около 200 км.

Работы методом ЗСБ проводились с использованием цифровой телеметрической станции «Пикет» (разработка НПП «Геотелесистемы» и ФГУГП «Иркутскгеофизика») по методике профильных зондирований (Кондратьев и др., 2004). В качестве источника электромагнитного поля использовалась незаземленная петля со стороной квадрата 600 м. Приемные петли 18×18 м находились на пикетах с разносами 0, 500 и 1000 м. Регистрация сигналов становления электромагнитного поля осуществлялась на нескольких режимах, в которых изменялись величина тока в генераторной петле (от 15 до 110 А), шаг дискретизации сигнала по времени (31 и 250 мкс), коэффициенты усиления каналов и число витков приемных петель. Район исследований является достаточно густо населенным, с развитой сетью линий электропередач. В связи с этим наблюдался значительный уровень электромагнитных периодических помех. Благодаря использованию эффективных средств компьютеризированной математической обработки сигналов и подавления помех в программном комплексе станции «Пикет» было обеспечено высокое качество полученных материалов.

Основу геологической структуры района исследований составляют южная часть древней Сибирской платформы и Саяно-Байкальская складчатая область. Последняя – уникальный объект по масштабам и распространению разнообразных магматических образований. Особое место в её строении занимают палеозойские гранитоиды, слагающие гигантские батолиты. Саяно-Байкальский складчатый пояс сформировался вдоль пограничной зоны Сибирского и Амурского блоков литосферных плит и захватывает также структуры ряда микроплит (Мац и др., 2001).

На профиле выделяются два отличающихся в геоэлектрическом отношении тектонических элемента: южная часть Сибирской платформы и кристаллическое горное обрамление. Геоэлектрические свойства горных пород всех горизонтов варьируют в существенных пределах.

Наибольший интерес к данному профилю вызывает то, что линия профиля пересекает весьма контрастные по геоэлектрическим характеристикам блоки – платформенный и горный. Зона выклинивания платформы и уменьшения мощности осадочного чехла характеризуется сложным геологическим строением, которое находит отражение в результатах электромагнитных зондирований.

Восточная часть профиля находится в пределах осадочного чехла Сибирской платформы, который в геоэлектрическом отношении делится на три комплекса: верхний проводящий (надсолевой) с сопротивлением от десятков до сотен Ом·м и мощностью от первых сотен метров до первых километров, средний высокоомный (по составу карбонатно-галогенный) с высоким поперечным сопротивлением и низким продольным сопротивлением (для методов постоянного тока он является почти непроницаемым экраном) и нижний проводящий (подсолевой) с сопротивлением от единиц до первых сотен Ом·м. Сопротивление пород фундамента порядка 2000 Ом·м.

Форма кривых зондирований в трансформациях кажущегося сопротивления и проводимости на данном участке является типичной для геоэлектрических условий Сибирской платформы (рис. 1).

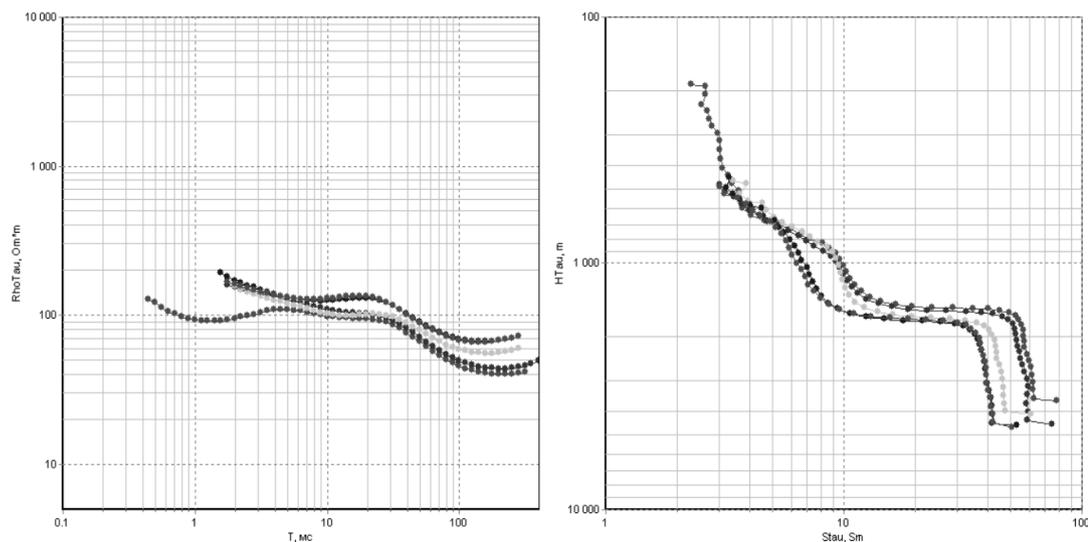


Рис. 1. Типичные кривые ЗСБ $\rho_{\lambda}(t)$ и $S_{\tau}(H_{\lambda})$ на платформенном участке профиля.

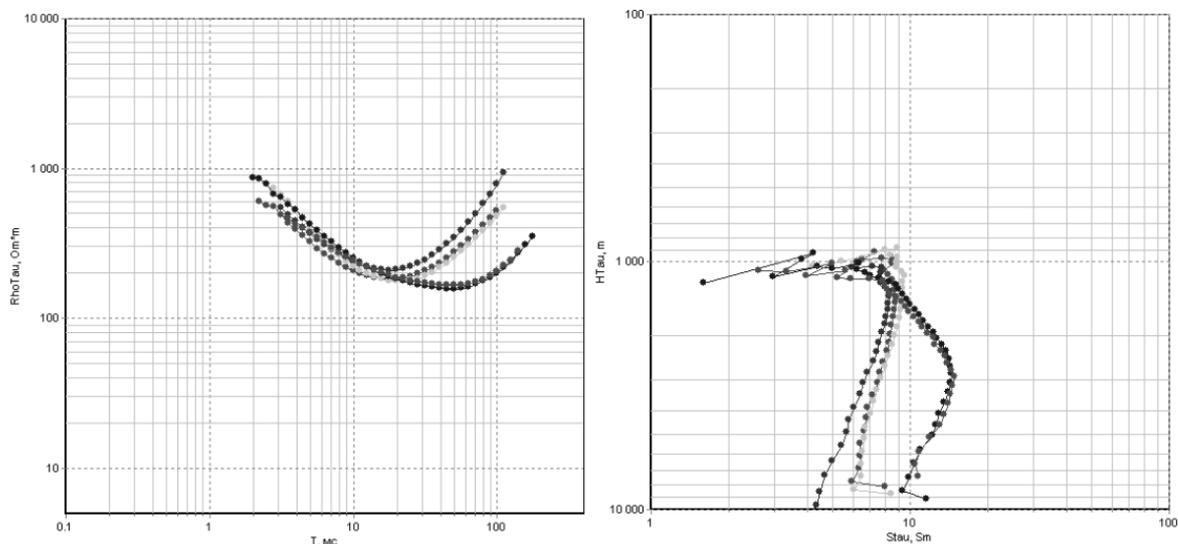


Рис. 2. Типичные кривые ЗСБ $\rho_{\lambda}(t)$ и $S_{\tau}(H_{\lambda})$ в краевой части платформы.

Суммарная проводимость разреза варьирует в диапазоне от 25-30 до 100-120 Сим. Наблюдаются закономерные изменения проводимости горизонтов, связанные с различием коллекторских свойств и характера флюидонасыщения. Результаты количественной интерпретации позволяют с высокой степенью точности описывать разрез одномерной горизонтально-слоистой моделью. По мере приближения к горному обрамлению происходит уменьшение мощности осадочного чехла и пологое воздымание проводящих горизонтов-коллекторов.

Вблизи краевой части платформы происходит значительное изменение характера кривых (рис. 2). На кривых кажущейся проводимости наблюдается уменьшение проводимости с глубиной, что дает основание сделать вывод о влиянии трехмерных объектов. Геоэлектрический разрез изменяется весьма значительно на коротком участке профиля. Суммарная проводимость понижается до 5-10 Сим.

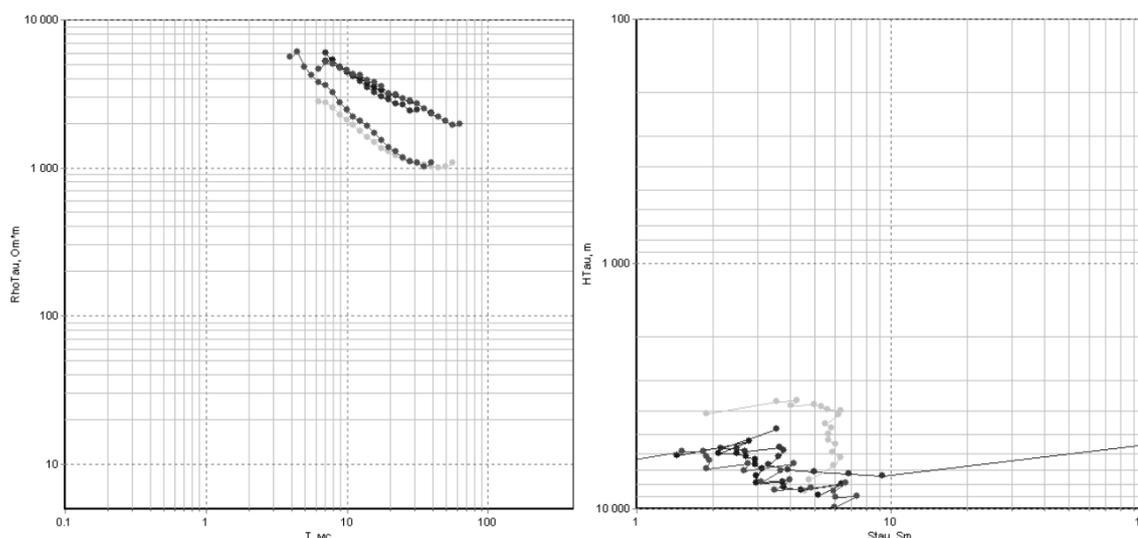


Рис. 3. Типичные кривые ЗСБ $\rho_{\alpha}(t)$ и $S_{\tau}(H_{\Delta})$ в пределах горного обрамления (Присаянье).

В горной части профиля зарегистрировано 20 точек наблюдения. Примеры типичных кривых приведены на рис. 3. Кривые характеризуют высокоомный разрез с кажущимся сопротивлением порядка 2000-5000 Ом·м. Кажущаяся глубина исследований достигает 10 км. Длительность переходного процесса весьма незначительная – до 40-50 мс при использовании генераторной петли 600x600 м и токе 100 А. Послойная одномерная интерпретация кривых в пределах горного обрамления и переходного участка весьма затруднена.

Проведенные исследования показывают высокую чувствительность метода ЗСБ при изучении краевой части Сибирской платформы. В работе приводятся результаты качественной и количественной интерпретации, статистической обработки кривых и геоэлектрических моделей.

Литература

1. Кондратьев В.А., Поспеев А.В., Агафонов Ю.А., Пашевин А.М., Ольховик Е.А. Результаты применения новых технологий электромагнитных зондирований на юге Сибирской платформы // Разведка и охрана недр. – М., 2004, – №8 – 9.
2. Мац В.Д., Уфимцев Г.В., Мальдембаум М.М. и др. Кайнозой байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2001. – 249 с.

ФРАГМЕНТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОФИЗИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ЕГО ОБРАМЛЕНИЯ

Т.В. Картунова, Е.И. Сычёва, М.В. Говоров

Научные руководители доцент В.А. Картунов, доцент В.И. Платунов

Дальневосточный государственный технический университет, г. Владивосток, Россия

Котловина Аральского моря располагается в центральной части Арал-Каракумской геоморфологической провинции, являющейся наиболее пониженной морфоструктурой территории Туранской равнины. Геологические исследования показывают, что в позднем плиоцене (апшеронская эпоха) уже существовало Большое Аральское море, которое заливало пустыни Каракум, Сарыкамышскую котловину и отдельными заливами соединялось с акваторией Каспийского моря, а воды Каспийского моря сообщались с Черным морем и покрывали северные территории до устья р. Камы (Логвиненко, 1980). В последующее время происходило постепенное сокращение и расчленение объединенного Арало-Каспийского бассейна до границ современного состояния, хотя неоднократно происходили трансгрессии и регрессии относительно небольшого масштаба.

По характеру аномальных геопотенциальных полей можно предполагать, что главные структурные комплексы фундамента Урала, сохраняя меридиональное простирание, протягиваются под осадочными отложениями Туранской плиты до побережья Аральского моря. Еще южнее из Тургайской впадины по цепочке магнитных аномалий, возможно, прослеживается полоса эффузивов каменноугольного возраста. В свою очередь наблюдается и меридиональное простирание аномалий силы тяжести и магнитного поля над одной из ветвей Тянь-Шаня. Таким образом, возникает предположение о возможной пространственной связи герцинских структур Урала и Тянь-Шаня в районе Аральского моря (Беляевский, 1974). Однако наблюдаемые здесь слабо дифференцированные отрицательные магнитные аномалии нетипичны для уральских и тянь-шаньских структур. Это дало основание ряду исследователей (Куни, 1972) считать, что под Аральским морем располагается древний кристаллический массив, разделяющий структурные комплексы Урала и Тянь-Шаня.

Северо-западная окраина Туранской плиты характеризуется пониженными значениями поля силы тяжести и отрицательными магнитными аномалиями, имеющими северо-западные простирания и направленными под углом к ветвям герцинид Урала и Устюртской зоны. Западнее Аральского моря в поле этих аномалий фундамент сложен древними кристаллическими сланцами, вдоль поверхности которого повсеместно фиксируются высокие граничные скорости (более 6 км/с).

Меридиональный геолого-геофизический разрез земной коры и верхней мантии по профилю Копетдаг – Аральское море отражает сложную гетерогенную структуру Туранской плиты, выражающуюся в неоднородностях глубинного строения коры. Мощность ее преимущественно имеет значения, близкие к 40 км, варьируя в широких пределах – от 27 до 53 км. Фиксирующая южную границу Аральского моря положительная локальная магнитная аномалия интенсивностью до 200 нТл является классическим примером отражения вертикального магнитовозмущающего объекта с вертикальным намагничиванием, горизонтальная мощность которого около 1 км, а верхняя кромка залегает на глубине 2 км (кровля фундамента). Нижняя граница тела располагается на глубине 30 км, что соответствует расчетной критической поверхности потери породами ферромагнитных свойств. Эта магнитная аномалия на разрезе является фрагментом магнитной кольцевой зоны, ограничивающей Аральскую котловину, что позволяет предполагать распространение этой геологической неоднородности по всему периметру акватории моря.

В мелкомасштабном магнитном поле центральная часть котловины Аральского моря располагается в спокойной слабоотрицательной области, оконтуриваясь со всех сторон массивными очертаниями положительных удлинённых аномалий уральского направления. Анализ вероятностно-статистических характеристик аномального магнитного поля (дисперсии, энтропии, энергетических спектров, автокорреляционных функций) в пределах южного Урала и кольцевой зоны, оконтуривающей центральную область Аральского моря, показывает близость их численных значений, в то время как средняя зона акватории имеет резко отличающуюся картину распределения данных параметров. Таким образом, есть основание полагать, что наиболее правдоподобной представляется точка зрения, трактующая распределение геопотенциальных полей в районе Аральского моря как показатель разграничения структурных комплексов Урала и Тянь-Шаня.

В пределах самой акватории моря каких-либо существенных магнитных аномалий не обнаружено. Магнитное склонение здесь плавно изменяется от $7^\circ, 4$ в юго-западной части до $8^\circ, 6$ в северо-восточной части моря, а его годовое увеличение составляет $0^\circ, 02$ (Тум, 1960).

Аральская котловина – молодое, наложенное на древние структуры образование, водное заполнение которого приходится на верхний плиоцен. В пределах котловины выделялось несколько районов: 1) Малое море (Северный Арал) – область, характеризующаяся мелководностью, слабым осадконакоплением и выходами коренных пород на дне; 2) Западноаральский – район максимальных глубин и биогенно-хемогенного осадконакопления; 3) Срединное поднятие; 4) Центральный – район равнинного рельефа дна; 5) Приамударьинский и Присырдарьинский участки устьевых взморий (Воскресенский и др., 1980).

Акватория Аральского моря располагалась между параллелями $43^\circ 28'$ и $46^\circ 52'$ сев. широты и меридианами $58^\circ 12'$ и $61^\circ 58'$ вост. долготы. К середине прошлого века общая площадь зеркала моря с островами составляла около 70000 км². На Аральском море насчитывалось более трехсот островов, количество которых и конфигурация береговой линии зависели от уровня моря и постоянно менялись. Общая площадь островов составляла примерно 3,5 % от общей площади моря, что являлось самым высоким соотношением этих площадей для замкнутых водоемов Земли. Характерная особенность рельефа дна – меридиональная гряда, протягивающаяся от полуострова Муйнак на юге к острову Кокаралу, отдельные участки которой и образовывали крупнейшие острова моря (Лазарева, Возрождение, Барса-Кельмес, Кокарал). Эта гряда структурно обусловлена глыбовыми дислокациями глубинного разлома, располагающегося на стыке Устюртского и Кызылкумского сегментов Туранской плиты (Воскресенский и др., 1980). С запада этой линейной возвышенности сопутствует меридиональная неотектоническая желобообразная впадина, где глубина моря достигала 69 м.

Западный берег моря (восточная оконечность плато Устюрт) высокий и обрывистый, максимальная высота обрывов составляла 190 м, южный – образован наносами дельты реки Амударья. Восточная и северная береговые части низкие и песчаные с незначительно возвышающимися барханами пустынь Кызыл-Кумы и Кара-Кумы.

Берега Аральского моря сложены меловыми, палеогеновыми и четвертичными отложениями. Меловые отложения (известняки, глины, песчаники и др.) обнажаются в антиклинальных структурах полуостровов Куланды на севере и Муйнак на юге. Широким распространением пользуются терригенные и карбонатные породы палеогена в северной и западной береговой зоне. На восточном и южном берегу развиты четвертичные отложения, которые представлены глинистыми песками с ракушкой, эоловыми песками, чередованием глинистых песков и песчаных глин в древнем аллювии рек.

В основании голоценовой толщи осадков залегают древнеаральские слои, представленные в глубоководной части моря глинистыми и глинисто-алевролитами глинами, в прибрежной части – песками с раковинным детритом. Мощность древнеаральских слоев 0,7 м. В этих слоях встречаются раковины *Cardium*, *Dreissena*, *Planorbis* и др.

Выше располагаются слои древнеаральской регрессии, включающие гипс, мирабилит и астраханит. Мощность этих слоев 0,5 м. Слои аральской трансгрессии состоят из глинисто-известкового ила, мощность слоев 0,45 м. Аральские регрессивные слои представлены глинисто-известковыми илами с гипсом мощностью 0,25 м.

В целом рельеф дна акватории однороден и не фиксирует заметного влияния кристаллического фундамента, глубина залегания которого в южной части достигает 5 км.

В многотысячной истории Аральского моря были неоднократные периоды чередования его полноводности и усыхания с распадом на ряд горько-соленых мелких бассейнов и кристаллизацией мирабилита из их рапы. Этим разновозрастным этапам жизни моря соответствовали периоды расцвета цивилизаций и их деградации, превращения Приаралья из оазиса в безлюдную пустыню. Современная гибель Арала произошла на уровне иной ступени цивилизации, которая спровоцировала эту трагедию в масштабах экологического бедствия. За счет непомерного применения минеральных удобрений и пестицидов отравлены и реки, и остатки моря, и огромные территории земель.

Литература

1. Беляевский Н.А. Земная кора в пределах территории СССР. – М.: Недра, 1974. – С. 49-58.
2. Воскресенский С.С., Леонтьев О.К., Спиридонова А.И. и др. Геоморфологическое районирование СССР. М.: Высшая школа, 1980. – С. 87-92.

3. Кунин Н.Я. Комплексирование геофизических методов при геологических исследованиях. – М: Недра, 1972. – 270 с.
4. Логвиненко Н.В. Морская геология. – Л.: Недра, 1980. – С. 295-297.
5. Тум П.П. Аральское море. – М.: Изд-во Морской транспорт, 1960.

ОСОБЕННОСТИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТА Ю₁₋₁ ЧКАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.С. Кутьина

Научные руководители доцент Г.Г. Номоконова¹, старший научный сотрудник С.М. Шевченко²

¹Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК», г. Томск, Россия

При высокой степени изученности нефтегазоносных территорий прирост запасов углеводородов в значительной степени зависит от полноты извлечения поисково-прогнозной информации из уже имеющихся геофизических материалов. Разработка механизмов такого извлечения является актуальной задачей. Исследования, результаты которых изложены в настоящей статье, направлены на её решение и имеют целью создание надёжного петрофизического обеспечения интерпретации данных геофизических исследований скважин.

Исследовался пласт Ю₁₋₁ Чкаловского месторождения, расположенного на северо-восточном склоне Среднеvasюганского мегавала. Коллекторы пласта представлены песчаниками верхней части васюганской свиты, перекрытыми глинистыми образованиями георгиевской и баженовской свит верхней юры. Исследовались коэффициенты открытой пористости (K_p), проницаемости ($K_{пр}$) и остаточной водонасыщенности ($K_{во}$) пород-коллекторов, а также их гранулометрический состав. Данные петрофизических наблюдений по разрезам четырёх скважин подвергнуты статистической обработке (уравнения регрессии, поля корреляции, гистограммы) и анализу. Выявлены следующие петрофизические особенности пласта Ю₁₋₁ Чкаловского месторождения.

Анализ корреляционных зависимостей между исследуемыми петрофизическими параметрами показал, что наиболее тесные связи с фильтрационно-ёмкостными свойствами (ФЕС) имеет остаточная водонасыщенность, особенно в разрезе скв. 20 (рис.). Из этого следует, что основным литологическим фактором, влияющим на ФЕС коллекторов Чкаловского месторождения, является их глинистость. Учёт остаточной водонасыщенности (глинистости) при вычислении эффективной пористости существенно улучшает корреляционные зависимости между основными ФЕС коллектора – пористостью и проницаемостью. Поскольку в практике геофизических работ коэффициент проницаемости рассчитывается по коэффициенту пористости, определённому из геофизических данных, то учёт остаточной водонасыщенности в конечном счёте увеличивает надёжность прогнозных оценок.

В петрофизическом отношении пласт Ю₁₋₁ неоднороден. На полях корреляции исследуемых параметров точки четырёх изученных разрезов обособливаются, а при построении корреляционных зависимостей отдельно по каждому разрезу теснота связи существенно увеличивается. Иными словами, мы имеем дело с пространственной петрофизической неоднородностью пласта Ю₁₋₁ в пределах месторождения. Характерны разные проявления неоднородности на полях корреляции различных параметров, что можно видеть на примере разрезов скважин 20 и 45, между которыми наблюдаются наибольшие различия (рис.).

В поле корреляции « K_p – $K_{во}$ » отдельные неоднородности проявляются в «параллельном» смещении зависимости по оси $K_{во}$, так что породы близкой пористости имеют существенно различные водонасыщенности при одинаковой чувствительности параметров друг к другу (наклон линии регрессии). В поле корреляции « K_p – $K_{пр}$ » неоднородность, кроме смещения по оси проницаемости, проявляется также в изменении наклона линий регрессии: в разрезе скважины 20 (с большей остаточной водонасыщенностью и глинистостью) чувствительность проницаемости к пористости выше, чем у более проницаемого коллектора разреза скв. 45.

На причину различий петрофизических разрезов скважин 20 и 45 указывает также результаты обработки данных гранулометрии (рис.). Судя по распределению размеров зёрен, коллектор в разрезе скв. 45 представлен среднезернистыми песчаниками, а в разрезе скв. 20 – мелкозернистыми песчаниками с высоким содержанием алевритовой фракции. Построение диаграммы Лоренца по проницаемости и пористости, служащей для оценки однородности пласта по разрезу скважины, показывает, что из всех исследуемых разрезов однородным может считаться лишь коллектор скв. 45, обладающий также высокой проницаемостью и, скорее всего, увеличенным радиусом поровых каналов (судя по формуле Козени-Кармана (Добрынин и др., 1991)).

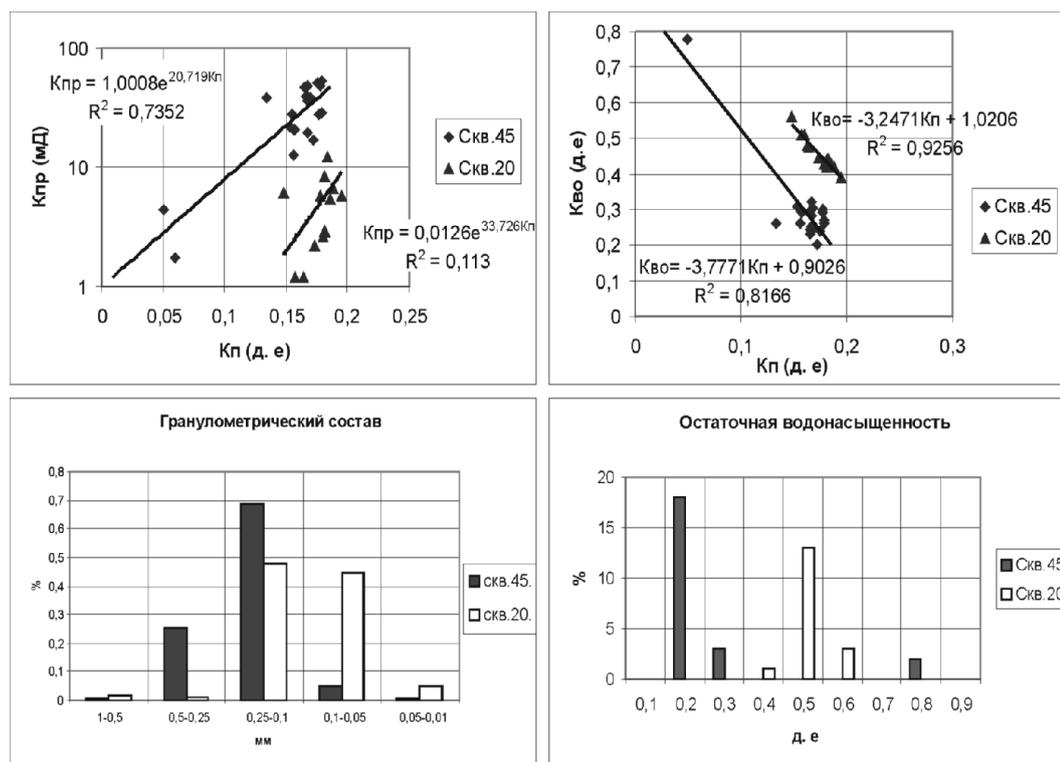


Рис. Результаты статистического анализа фильтрационно-емкостных свойств коллекторов двух разрезов с различной петрофизической характеристикой

Таким образом, пространственная петрофизическая неоднородность в границах месторождения пласта Ю₁₋₁ обусловлена изменчивостью фациальных условий образования (размер пор, зернистость, глинистость) и эпигенетическими процессами (глинистость - остаточная водонасыщенность (Лебедев, 1992)). Для высокопроницаемых коллекторов пористость перестаёт быть главенствующим фактором, влияющим на проницаемость; определяющим фактором становится радиус гидравлических каналов. Поскольку уравнения связи (петрофизические модели) изменяются в пределах месторождения, то для получения надёжных подсчётных параметров по каждой скважине нужно составлять свои уравнения или, предпочтительнее, разработать механизм типизации коллекторов и геофизические критерии отнесения коллектора к определённому типу по применимости петрофизических уравнений.

Литература

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
2. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. – Л.: Недра, 1992. – 239 с.

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПАССИВНОГО ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА

А.В. Лончин, А.В. Мардяшов

Научный руководитель профессор М.Ю. Катаев

Томский университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

Как известно, в настоящее время экология атмосферы привлекает огромное внимание человечества из-за интенсивного развития промышленности и увеличения числа транспорта. Для предотвращения экологических катастроф необходимы знания различных атмосферных характеристик, получение которых, как правило, требует применения сложных промышленных технологий или дорогостоящих измерительных приборов.

Со времен Ньютона оптическая спектроскопия всегда была одним из самых информативных методов исследования вещества. За прошедшее время способы регистрации излучения существенно модернизированы. Однако принципы построения спектральных приборов до середины XX века практически не менялись. Большинство приборов традиционно строили по одной и той же схеме: излучение фокусируется на входную щель прибора, прошедшее излучение параллельным пучком направляется на диспергирующий элемент (долгое время это была призма, в XX веке она стала заменяться на дифракционную решетку) и после фокусировки на выходной щели излучение регистрируется каким-либо приемником излучения. На данный момент выделяется два основных метода анализа экологической ситуации городов и промышленных зон, основанных на применении лазерных систем – активный и пассивный. В отличие от пассивных, активные методы являются энергозависимыми и слабо применимыми для изучения удаленных источников выбросов. В этих случаях пассивный анализ является единственно приемлемым.

Во второй половине XX века началось бурное развитие интерференционной спектроскопии с преобразованием Фурье. Такие спектрометры обеспечили резкое повышение спектрального разрешения, информативности и скорости получения информации по сравнению с другими оптическими спектрометрами.

Газоанализ атмосферного воздуха представляет собой трудоемкий технологический процесс, который без использования компьютерного моделирования и обработки представить в настоящее время сложно. Знание информации о газовом составе атмосферы (количественном и качественном) является универсальным инструментом познания, исследования и проектирования объектов в разных предметных областях. При этом по мере усложнения указанных объектов значимость проблемы построения и использования моделей реально существующих и создаваемых объектов постоянно возрастает. Моделирование как метод создания и исследования моделей позволяет практически устранить необходимость длительных и дорогостоящих натурных испытаний, отказаться от использования традиционных методов “проб и ошибок”. Поэтому компьютерное моделирование является практически единственным методом имитирования сложной, дорогостоящей следящей техники, необходимой для оценки экологической ситуации и влияния вредных веществ на уровень загрязнения атмосферы.

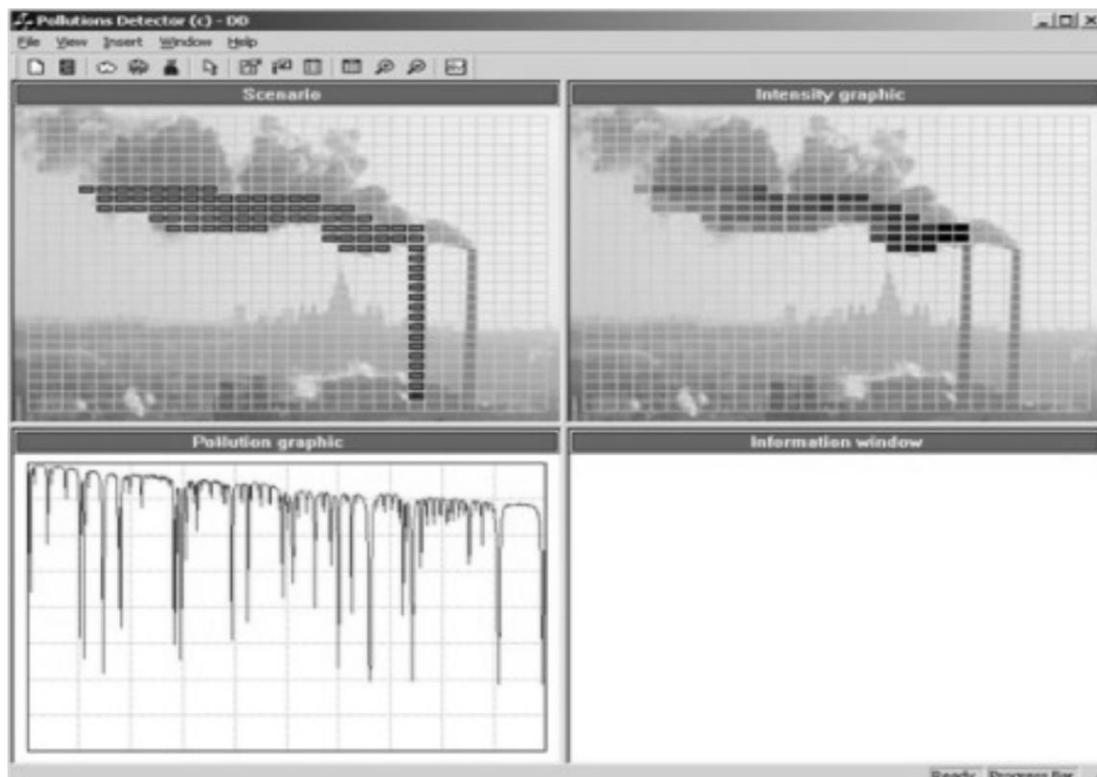


Рис. Внешний вид окна программы

Процесс измерения и преобразования сигнала инфракрасного Фурье-спектрометра является сложным как в плане техническом, так и в плане моделирования. Однако в современных Фурье-спектрометрах процесс измерения и преобразования доведен до автоматизации. Не менее сложным является преобразование Фурье- сигнала и моделирование распространения ИК излучения в атмосфере с учетом технических особенностей спектрометра. К таким особенностям, в нашем случае, относится скоростной съем Фурье-спектра (приблизительно 100 Гц) и возможность перемещения поля зрения по пространству. Распространение ИК излучения в атмосфере описывается известными законами. Для расчета необходимо иметь базу данных (в нашем случае для разрешения 0.1 см^{-1} объем базы составляет 56 Мб) коэффициентов поглощения газов, моделей аэрозольного ослабления, модель источника загрязнений и т.д. Далее необходимо иметь сценарий измерений – способ передвижения поля зрения спектрометра по изучаемому пространству, решение задачи выделения исследуемого объекта по результатам наблюдения с последующим анализом (определение количественных характеристик).

Цель моделирования – определить возможность обнаружения исследуемого объекта (труба, дым и др.) при заданных характеристиках среды, объекта и технических возможностей прибора.

Предлагаемый к рассмотрению программный продукт позволяет моделировать экологическую обстановку локального региона с возможным присутствием в нем загрязняющих атмосферу веществ. Процесс моделирования можно осуществлять в главном окне программы, представленном на рисунке. В левой части окна представлено изображение локального региона, исследуемого FTIR-спектрометром, которое разбито на кадры, каждый из которых соответствует области, исследуемой Фурье-спектрометром в данный момент времени. Для каждого кадра пользователь может задать набор характеристик атмосферы (температура, давление, газовый состав, наличие аэрозолей, тумана), в соответствии с которым производится расчет спектра излучения атмосферы. В этом и заключается процесс моделирования. Изучив полученные спектры, пользователь может определить возможность эффективной работы прибора в тех или иных климатических условиях.

Помимо моделирования в программе предусмотрено изучение спектров и для другой цели, а именно для определения зависимости концентрации загрязняющего вещества от вида спектра излучения. Окно, с помощью которого производятся эти расчеты, представлено на рисунке.

Совместив результаты моделирования и анализа зависимостей, программа определяет источник загрязнения и концентрации загрязняющих веществ, которые отображаются в виде гистограммы в правой части главного окна.

На основании полученных данных можно получить детальную информацию о физико-химических явлениях (температура фона и источника, оценки концентраций газовых составляющих), а при использовании соответствующих вычислительных ресурсов получить в численном эксперименте результаты, иногда просто невозможные в лабораторной постановке.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.П. Максимов

Научный руководитель профессор Л.Я. Ерофеев

ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК», г. Томск, Россия

Эффективность поисково-разведочных работ и разработки месторождений определяется степенью соответствия наших представлений о нефтегазоперспективном объекте его реальному строению, т.е. полнотой имеющихся у нас данных и той точностью, которую мы закладываем в сейсмогеологическую модель. Наиболее полные данные о строении нефтегазоперспективных объектов на современном этапе дают данные сейсморазведки 3D в комплексе с ГИС. Надежность таких подходов определяется во многом однородностью и плотностью имеющихся сейсморазведочных данных и применением современных обрабатывающих и интерпретационных пакетов программ, позволяющих с высокой степенью надежности решать следующие основные геологические задачи:

1. Уточнение структурного плана основных отражающих горизонтов, построение объемной модели. Наибольший эффект достигается для кровли доюрского комплекса за счет применения методов 3D-миграции. На этой основе существенно расширяются возможности геоморфологической и сейсмофациальной диагностики вещественного (литолого-фациального) состава продуктивных пластов.

2. Картирование линейных морфоэлементов (разломов, зон трещиноватости и др.), построение дизъюнктивно-блоковой модели. Основной эффект достигается за счет построения горизонтальных срезов амплитуд - слайсов и определения максимальных углов наклона (градиентов и азимутов) по основным отражающим горизонтам. Надежность дизъюнктивно-блоковой модели увеличивается за счет привлечения данных аэрокосмических, гравиметрических и магнитометрических исследований. Неоднозначная диагностика флюидопроводящей или экранирующей природы малоамплитудных разломов снижают геолого-промысловое значение этих морфоэлементов, выделяемых по 3D-сейсмическим данным.

3. Выявление литолого-фациальной неоднородности продуктивных пластов, построение фильтрационно-емкостной модели резервуара. Обычно выделяются методы качественного и количественного прогноза. Качественный прогноз осуществляется на основе программ динамического, сейсмоформационного и сейсмофациального анализов и заключаются в выделении зон, различающихся по типу временного разреза, которые отождествляются с зонами различных коллекторских свойств. Количественный прогноз заключается в применении методов атрибутного анализа и инверсионных преобразований с получением количественных характеристик фильтрационно-емкостных свойств коллекторов.

Атрибутный (многомерный корреляционно-регрессионный) анализ – нахождение эвристических зависимостей между прогнозируемыми свойствами геологических тел и атрибутами (параметрами) сейсмической записи (амплитуда, энергия, фаза и т.п.) и последующим распространением их в межскважинное пространство.

Инверсионные преобразования сейсмической записи с трансформацией поля отраженных волн в разрезы псевдоакустической жесткости, скорости, псевдоПС-каротажа и т.п. реализованы в различных пакетах обрабатывающих и интерпретационных программ, (Geovector, Charisma-RM, Hampson-Russel Software Services Ltd., STRATA, ПАК, ПАРМ, ПсевдоЛогСейс и др.). Существенным преимуществом такого подхода является получение сейсмогеологического разреза (куба) данных с возможным восстановлением объемного строения геологических тел, уточнения их взаимосвязей и распределения фильтрационно-емкостных свойств.

Описанные выше подходы к построению сейсмогеологических моделей нефтегазоперспективных объектов получили широкое распространение, реализованы в целом ряде программных (обрабатывающих и интерпретационных) комплексов (как отечественных, так и зарубежных) и закреплены в целом ряде нормативных документов (Методические..., 2003), которые накладывают существенные ограничения на их область применения и достоверность получаемых материалов. В тоже время имеется ряд проблем и вопросов (Ампилев, 2004; Максимов, 2004), которые накладывают существенные ограничения на их область применения и достоверность получаемых материалов.

Проблемные вопросы можно подразделить на следующие основные группы:

1. Технологические – качество исходных материалов, полнота данных, их достаточность для решения поставленных задач. Наличие данных проблем обуславливает необходимость постановки дополнительных полевых сейсморазведочных работ, а также дообработку и переобработку сейсмических материалов прошлых лет с применением современных обрабатывающих процедур. Основная цель - повышение плотности сейсмических профилей, повышение разрешенности сейсмической записи, получение сейсмических временных разрезов с минимальными различиями динамических и кинематических параметров на пересечениях профилей и т.п.

2. Геологические - сложное строение нефтегазоперспективных объектов, их сильная литологическая и скоростная изменчивость (как верхней части разреза, так и целевых горизонтов), изрезанность структурного плана и др. Наличие данных проблем может потребовать постановку дополнительных, нетрадиционных работ, таких как детальный

анализ и учет скоростей ВЧР с выявлением зон ее аномального строения, AVO- анализ, миграция до суммирования и т.п.

3. Методические - некорректность постановки обратных кинематических и динамических задач (неединственность их решения). Данные проблемы обусловлены тем, что в программных продуктах реализованы алгоритмы, работающие только при определенных ограничениях и допусках к модели среды и источника сигнала. В тоже время реальные природные объекты значительно сложнее имеющихся наших представлений о них. Так что наработанные прогнозы имеют существенные ограничения по точности и области их применения, которые необходимо учитывать при прогнозировании.

Таким образом, у геологов и геофизиков в современных условиях имеются большие возможности по построению детальных сейсмогеологических моделей нефтегазоперспективных моделей, однако их использование требует учета многих факторов: области применения имеющихся программных продуктов, характер имеющихся данных, методические особенности и т.д. и т.п.

Литература

1. Ю.П. Ампилов. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. – М.: Геоинформмарк, 2004. – 286 с.
2. В.П. Максимов. Современное состояние и актуальные вопросы подготовки сложнопостроенных и малоразмерных объектов сейсморазведкой // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области. Матер. науч.-практич. конф. – Томск: ТПУ, 2004.
3. Временное руководство по содержанию, оформлению и порядку представления материалов сейсморазведки 3Д на Государственную экспертизу запасов нефти и горючих газов. – М.: ОАО «ЦГЭ», 2004. – 24 с.
4. Методические рекомендации по применению пространственной сейсморазведки 3D на разных этапах геологоразведочных работ на нефть и газ. – М.: ОАО «ЦГЭ», 2000. – 64 с.
5. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 164 с.

СУЩЕСТВОВАНИЕ БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕОТЕРМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Л.Г. Оганесян, К.С. Варданян

Научный руководитель канд. геол.-мин. наук А.О. Оганесян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии Национальной Академии наук, г. Гюмри, Армения

Известно, что температуры недр вместе с давлением предопределяют состояние вещества недр, отражающегося в характере геофизических полей, чем обусловлено уникальное место геотермических данных при анализе фундаментальных проблем наук о земле. Исследования теплового поля могут решить не только теоретические, но и прикладные задачи, в числе которых оценка геотермальных ресурсов, имеющая весьма важное значение для такого активного и, одновременно, не располагающего значительными энергоресурсами региона, как Армения. Следует подчеркивать, что петрогеотермальные ресурсы при современном уровне развития техники имеют огромное превосходство по сравнению с традиционными видами энергоносителей.

Несмотря на малочисленность пунктов определения теплового потока (ТП) (около 70 значений), выполнен определенный объем интерпретации геотермических данных: установлена связь геотермических зон с донеогеновым тектоническим строением территории, разделены стационарная и нестационарная составляющие теплового поля (Варданян, 1984), построена обобщенная региональная тепловая модель земной коры и верхней мантии территории (Варданян и др., 1985), сделаны попытки количественного и полуколичественного сопоставлений геотермических и других геофизических данных (Бурьянов и др., 1986; Варданян, 1999).

На карте тепловых потоков территории Армении масштаба 1:1000000 (Варданян и др., 1984) отражены только самые общие, региональные характеристики теплового поля территории. Из-за недостаточной детальности на карте не выявлены локальные особенности теплового поля, связанные с возможными близповерхностными источниками тепла.

Однако аномально высокие значения (превышающие фон на 40-50 мВт/м²) теплового потока центральной полосы территории, соответствующей области проявления вулканизма и гидротерм, дают основание полагать наличие высокотемпературных объектов в близповерхностной зоне - потенциальных месторождений геотермальной энергии.

Имея в виду невозможность значительного наращивания массива экспериментальных геотермических данных, дальнейшее исследование теплового поля, на наш взгляд, пока целесообразно продолжать в комплексе с другими геофизическими данными, и использованием математического моделирования.

С этой целью разработан комплекс программ для расчета стационарных теплового потока и температуры, обусловленных радиогенным тепловыделением в коре и мантии, а также для расчета нестационарных теплового потока и температур, обусловленных конвективными процессами в недрах. При расчете стационарных температур были использованы значения скоростей сейсмических волн (Гордиенко и др., 1982).

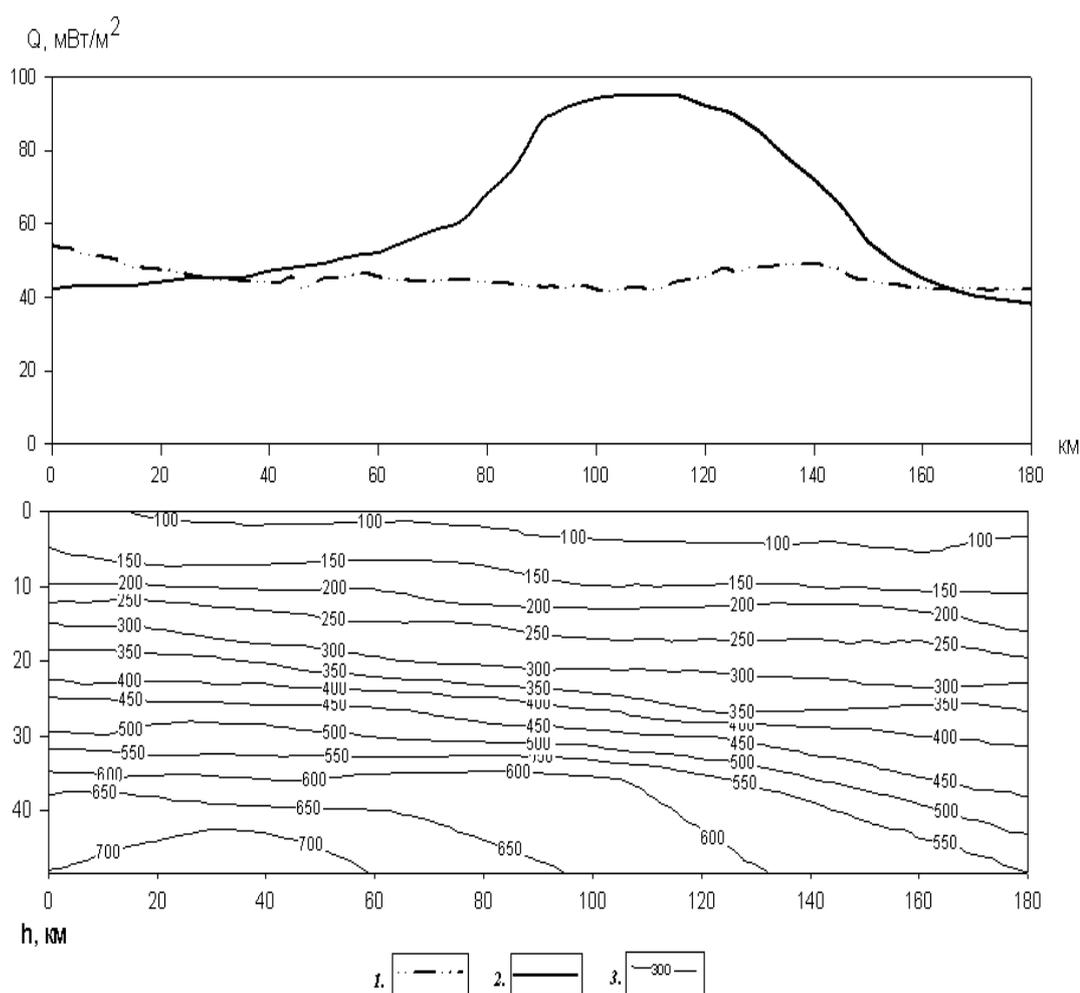


Рис. Стационарная модель по профилю ГСЗ Армаи-Бавра.
1 – фоновые ТП, 2 – наблюдаемые ТП, 3 – глубинные температуры

В настоящее время разрабатывается алгоритм решения обратной задачи геотермии. Как известно, нестационарные аномалии теплового поля создаются в основном за счет кратковременных нарушений теплового состояния земной коры и верхней мантии. По характеру тепловыделения это либо дополнительные источники с постоянной теплогенерацией, работающие ограниченное время τ , либо остывающие объекты с аномальной температурой. Для интерпретации этих аномалий, освобожденных от фона, мы остановились на моделировании нестационарных источников тепла с помощью методов оптимизации многопараметрических функционалов. При моделировании практически дело сводится к определению эффектов от этих тел, т.е. к решению прямой задачи.

Для решения прямой задачи возмущающий объект представляется в виде мгновенно внедренного, остывающего в полупространстве тела (параллелепипеда). Для условий Армении целесообразнее рассмотреть задачи, связанные с магматическими внедрениями, ввиду обилия на территории вулканических сооружений. Распределение нестационарных температуры и теплового потока находится из уравнения теплопроводности при нулевом граничном условии и нулевом начальном значении температуры во всей области, за исключением указанного параллелепипеда (Карслоу и др., 1964).

Так как детальность геотермических данных недостаточна для выявления и характеристики упомянутых аномальных объектов, приходится привлекать данные других геофизических (гравиметрических, магнитометрических и др.) исследований.

Предположение о существовании в исследуемой области внутрикоровых горячих объектов совпало с данными детальных и высокоточных аэромагнитных съемок, на основе которых были выполнены оценочные расчеты аномальных тепловых потоков (ТП) и температур в зависимости от возраста и глубины залегания верхней кромки магнитоактивных тел, отождествляемых с периферическими магматическими камерами. Учитывая геометрические параметры отмеченных тел и молодой возраст вулканизма, можно было предполагать, что эти объекты в настоящее время сохраняют аномальные температуры и создают локальные аномалии теплового потока (современная температура этих тел по магнитометрическим данным оценивалась в интервале 200-400 °C). Оценочные расчеты аномального теплового потока, обусловленного остыванием магнитоактивных тел показали, что интрузии размерами 5×5 км и 10×10 км с глубиной верхней кромки 2 км и возрастом 0.5-1.5 млн.лет могут создавать аномалии ТП в размере 20-80 мВт/м² (Бадалян, 1986). Аномалии ТП именно указанных параметров наблюдаются на территории Армении.

С целью решения поставленных задач попробуем построить тепловую модель земной коры по имеющимся геофизическим данным. Для начала используем сейсмические скорости в земной коре, приведенные вдоль профиля ГСЗ Армаш-Бавра в виде линий равных скоростей. По этим скоростям определены значения радиогенной теплогенерации (Гордиенко и др., 1982), а затем рассчитаны фоновые температуры в земной коре и тепловые потоки на поверхности. В распределении фоновых температур не учтены эффекты возможных внутрикоровых аномальных объектов, присутствие которых фиксируется разностью кривых наблюдаемого и фонового тепловых потоков (рис.).

Значительное (в среднем 40-50 мВт/м²) превышение наблюдаемого ТП над фоновым на наш взгляд обусловлено наличием частично расплавленных тел в коре и в верхней мантии. Внедрение этих тел, вероятно, обусловило активные геологические процессы в регионе, в частности, это могли быть процессы альпийской геосинклинальной складчатости и процессы многочисленных магматических проявлений.

Профиль Армаш-Бавра пересекает несколько разных геологических зон, в том числе Нахичеванский массив, Вединскую зону, Центрально-Армянскую зону, Ширакскую зону, Севано-Акеринскую офиолитовую зону и Ахалкалакское вулканическое нагорье, разделенных друг от друга зонами разломов. Пространственно повышенные значения теплового потока относятся к Центрально-Армянской и Ширакской зонам, которые выделяются активизацией более молодого (включая антропогенного) возраста. В этой зоне наблюдается минимум ускорения силы тяжести в редукции Буге, что вполне объяснимо частично расплавленным состоянием вещества под корой, а также внутри коры. Также выделяются разноглубинные объекты с пониженными скоростями сейсмических волн. Все эти явления можно отождествлять с наличием близповерхностных остывающих объектов, представляющих большой практический интерес. Работы по моделированию упомянутых остывающих объектов, интерпретируемых геотермическими, гравиметрическими, магнитометрическими и сейсмическими данными, продолжаются.

Литература

1. Бадалян М.С. Периферические магматические очаги новейшего вулканизма Армянской ССР как возможные источники геотермальной энергии // Известия АН Арм.ССР, серия "Науки о Земле". – Ереван, 1986. – N 6. – С. 65-66.
2. Бадалян М.С., Варданян К.С., Хуршудян А.М., Якоби Н.М. Приповерхностные источники тепла в неовулканической области Армении // ДАН Арм.ССР, серия геофизика. – Ереван, 1989. – т.88. – № 5. – С. 202 – 207.
3. Бурьянов В.Б., Варданян К.С., Гордиенко В.В. Плотностная модель земной коры и верхней мантии по профилю Маркара-Пойли // Известия АН Арм.ССР серия "Науки о Земле". 1986. – Ереван, – N 6. – С. 73 – 75.
4. Варданян К.С. Фоновый тепловой поток на территории Армянской ССР // Известия АН Арм. ССР серия "Науки о Земле". – Ереван, 1984. – N 2. – С. 61–64.
5. Варданян К.С., Гордиенко В.В. Новые значения теплового потока на территории Армянской ССР // Известия АН Арм.ССР, серия "Науки о Земле". – Ереван, 1984. – N 4. – С. 70 – 75.
6. Варданян К.С., Якоби Н.М. Источники аномального теплового потока на территории Армянской ССР // Известия АН Арм.ССР серия "Науки о Земле". – Ереван, 1985. – N 2, – С. 48 – 53.
7. Варданян К.С. Тепловое поле и сейсмичность территории Армении // Изв. НАН РА. Науки о Земле. – Ереван, 1999. – N 2–3, – С. 93 – 96.
8. Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Якоби Н.М. Тепловой поток континентов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 184с.
9. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
10. Кутас Р.И., Цвященко В.А., Корчагин И.Н. Моделирование тепловых полей земной коры и верхней мантии // Изучение литосферы геофизическими методами (электромагнитные методы, геотермия, комплексная интерпретация) : Сборник научных трудов. – Киев: Наук. думка, 1987. – С. 87–102.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ АЗИМУТАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ И ИНТЕРВАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ПРИ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЯХ И ЛИТОФАЦИАЛЬНОМ ПРОГНОЗЕ (НА ПРИМЕРЕ ПРИГРАНИЧНО-ГРИГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

А.А. Попов

Научный руководитель профессор Л.Я. Ерофеев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время до сих пор существует проблема наличия достаточного количества скважин, которые дают наиболее достоверные результаты определения глубин. В данной работе показан опыт учета азимутальной анизотропии скоростей, которая несомненно влияет на достоверность определения глубин по 2D сейсморазведке (по площадной 3D сейсморазведке этот вопрос решен).

Оценка эффекта азимутальной анизотропии в горизонтальной плоскости проведена на примере Пригранично-Григорьевского месторождения.

Оценки средних скоростей по отражающему горизонту D (принятому для построения подошвы пласта Б9-1), полученные в результате решения обратной кинематической задачи в пространственной слоисто-изотропной модели среды, рассматривались как две независимые системы данных (отдельно по широтным и меридиональным профилям).

Разность этих карт количественно характеризует проявление азимутальной анизотропии в горизонтальной плоскости. При этом приращение dV_{cp} по отражающему горизонту П_а (подошва баженовской свиты) составило в

пределах площади 70 м/с, что привело к некоторому перекошу структурной карты при использовании поля $V_{cp}(x, y)$, полученного в результате двумерной аппроксимации всей совокупности значений V_{cp} на Пригранично-Григорьевском месторождении (совместно по широтным и меридиональным профилям).

Методика учета анизотропии для последующего построения структурных карт и карт интервальных скоростей базируется на совместном анализе результатов кинематической интерпретации карт $t_0(x, y)$, $H(x, y)$, $V_{cp}(x, y)$ и "наблюденных" эффективных параметров годографов ОГТ (t_0 , $V_{OГТ}$), заданных по профилям (Жданович и др., 1987).

В таблицах 1 и 2 приведены оценки точности структурных построений по отражающему горизонту П^в (подошва баженовской свиты) и по подошве пласта Б9-1 на основании результатов кинематической интерпретации материалов сейсморазведки 2D с использованием различных методик:

- на основе полей $V_{cp}(x, y)$, полученных в результате пересчета эффективных параметров годографов ОГТ (t_0 , $V_{OГТ}$) в слоисто-изотропной модели среды с учетом влияния ВЧР;
- с дополнительным учетом данных бурения;
- после коррекции полей средних скоростей за эффект анизотропии и квазианизотропии.

Таблица 1

Оценка точности структурных построений по горизонту Па (подошва баженовской свиты)

Номер скважины	Значение глубины по данным сейсморазведки, м		
	без учета бурения	с учетом данных бурения	с учетом поправки за эффект анизотропии
5P	2187.642	2102.781	2101.631
6P	2208.046	2104.345	2113.339
8P	2244.157	2172.231	2175.484
9P	2204.475	2135.384	2131.297
3	2232.128	2121.241	2136.623
7P	2234.865	2125.563	2140.769
8P	2239.704	2134.172	2148.715

Учет эффектов анизотропии сейсмических скоростей обеспечивает по отражающим горизонтам D (верхи куломзинской свиты) и Па (подошва баженовской свиты) снижение среднеквадратического расхождения глубин с данными бурения примерно на 50-65 % (см. таблицы). На Пригранично-Григорьевском месторождении выявлены расхождения в структурных построениях по данным сейсморазведки МОВ ОГТ при сопоставлении с данными бурения, которые достигали 90-130 метров.

Уточнение полей интервальных скоростей ($V_{инт}$) после коррекции их за эффект анизотропии (приведение к аналогам $V_{инт}$, полученным по сейсмокаротажу) позволяет использовать их для более достоверного литофациального прогноза на стадии углубленной кинематической интерпретации. По отношению интервальных скоростей, полученных до и после учета азимутальной анизотропии, были построены карты кажущегося интервального коэффициента анизотропии.

Дополнительную информацию о литологическом строении разреза дает карта кажущегося интервального коэффициента анизотропии (Ka) Пригранично-Григорьевского месторождения, где зонам повышенной глинизации разреза соответствует повышение коэффициента (в пределах рассматриваемой площади Ka меняется в диапазоне 0.045-1.650). В зоне продуктивных скважин отмечается отсутствие повышенного градиента Ka .

Таким образом, учет анизотропии сейсмических скоростей дает возможность устранять расхождения глубин по данным сейсморазведки и по данным бурения и повышать точность сейсморазведочных работ на площадях Томской области. Также существует возможность использовать учет азимутальной анизотропии скоростей для структурных построений на площадях с небольшим количеством или даже с полным отсутствием поисково-разведочных скважин (в некоторых случаях значение dH может быть взято по аналогии с соседними площадями).

Таблица 2

Оценка точности структурных построений по подошве пласта Б9-1

Номер скважины	Значение глубины по данным сейсморазведки, м		
	без учета бурения	с учетом данных бурения	с учетом поправки за эффект анизотропии
1K	1951,351	1845,584	1848,735
4	1970,449	1840,44	1862,268
5P	1929,121	1831,44	1838,564
5	1933,114	1839,821	1843,926
6P	1966,943	1842,089	1858,578
7	1951,38	1843,177	1841,492
8P	1995,505	1896,099	1896,426
8	1966,125	1862,687	1860,032
9P	1958,329	1860,896	1863,205
9	1939,369	1851,855	1858,209
10	1943,016	1844,619	1850,413
11	1937,095	1842,415	1849,619
12	1945,462	1840,956	1848,699
13	1962,438	1861,508	1855,82
14	1952,589	1849,316	1843,53

2	1991,677	1865,062	1888,584
3	1997,911	1857,417	1894,607
4	1990,702	1858,964	1886,802
5	1989,646	1866,508	1886,501
6	1994,241	1871,61	1892,179
7P	1986,491	1860,427	1882,31
7	1996,663	1866,33	1894,251
8P	1996,151	1861,841	1893,167
8	1992,948	1859,983	1889,406
9	1994,568	1849,594	1890,341
10	1985,743	1863,886	1882,158

Станд. отклонение 23,61765399 13,55211725 18,56797688

Литература

1. Жданович В.В., Голошубин Г.М., Загоскин А.П., Потапов О.А. Экспериментальное изучение сейсмической анизотропии по преломленным, отраженным и проходящим волнам // Труды 32 Международного геофизического симпозиума. – Дрезден, 1987. – С. 304-310.
2. Жданович В.В., Загоскин А.П. Скоростная модель среды с учетом эффектов азимутальной анизотропии и квазианизотропии // Геофизика, 1999. – в. 1. – С. 18-23.

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ПОИСКОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В.В. Ростовцев

Научные руководители профессор Л.Я. Ерофеев, к.г.-м. н. В.Н. Ростовцев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Нефть и газ человечеству известны с библейских времен. Было обнаружено много мест, где нефть вытекала из небольших трещин в земле. Часто легкие фракции нефти улетучивались, а оставались лишь смолистые остатки. В северной Италии нефть добывалась из источников и использовалась для освещения еще до нашей эры. В самые древние времена нефть снимали с поверхности воды, которая накапливалась в углублениях рельефа. Позднее стали копать колодцы, некоторые из них достигали глубины 18 метров. В них хранили нефть. Многочисленные выходы нефти и газа наблюдали вдоль рек Тигра и Евфрата. Геродот рассказывает о том, как асфальт из нефтяных источников доставляли в Вавилон, где из него приготавливали цемент для городских стен. Плутарх в «Жизнеописании Александра» описывает горящие газовые источники близ Киркука и «асфальтовое» озеро, расположенное в этом районе. Из самых древних известных человечеству документов сохранилась информация о выходах нефти и газа в районе Баку. Слово «нефть» появилось на английской карте, датированной 1755 г. Индейские племена собирали нефть в ямах и употребляли её как медицинское средство. Французы, вторгнувшиеся в северо-западную часть Пенсильвании, были поражены успехами местной медицины. Они также начали собирать нефть в ямах, обшитых досками. Все эти события в доисторические времена можно отнести к первому, примитивному этапу поисков и использования нефти.

Новый более, цивилизованный этап поисков нефти связан с бурением в 1859 году полковником Дрейком первой скважины. Он пробурил ее вблизи одной из вырытых индейскими племенами ям. Об этой скважине было много написано, и ее окружили романтическим ореолом. Несмотря на то, что это была не первая скважина, обнаружившая нефть в США, скважина Дрейка имеет историческое значение. Она положила начало относительно целенаправленному поиску нефти, хотя в тот момент еще не были выяснены основные условия залегания нефти в горных породах. Основы, если можно так выразиться, первой концепции поисков нефти базировались на очень логичной и целесообразной схеме. Работы по поиску проводились на территориях, обещающих наибольшую отдачу: в районах, где существовала высокая вероятность выявить больше нефти и газа, причем очень дешевых. Скважины закладывались главным образом в непосредственной близости от выхода нефти или газа, с учетом изгиба рек и ручьев, подозрительных форм рельефа и просто наудачу. Бурение скважин в скором времени позволило выявить, что нефтяные месторождения приурочены к антиклинальным складкам. Это понимание существенно изменило концепцию поиска месторождений нефти и газа. Основой поисковых работ на нефть и газ стало выявление антиклинальных структур, эта парадигма стала главенствующей в 20 веке.

Важнейшим фактором для поискового процесса на нефть и газ стало понимание о ловушках нефти и газа, формирующихся при наличии в геологическом разрезе коллектора и покрышки. Все усилия были направлены на выявление положительных структур и ловушек в перспективных нефтегазоносных районах. Для этих целей использовалась геологическая съемка, картировочное бурение, гравиметрические, магнитометрические, электроразведочные и многие другие методы. С середины 50-х годов прошлого столетия основная роль при решении этого вопроса принадлежит сейсмическим исследованиям, которые в основном вытеснили многие виды других. Практически все районы, в пределах которых были выявлены существенные естественные выходы нефти и газа, к 20-30 годам были в той или иной степени изучены бурением и геологическими исследованиями. К этому моменту человечество создало двигатель внутреннего сгорания, научилось широко использовать нефть и мазут как топливо. Остро встал вопрос об увеличении добычи нефти и в первую очередь об открытии новых месторождений в различных районах Земли, расположенных далеко от традиционных нефтегазоносных районов. Решить эту задачу могли только ученые и специалисты, способные выявить важнейшие закономерности распространения нефти и газа и создать теоретические основы их поиска. По всем этим вопросам разгорается острая дискуссия и в первую очередь по вопросам происхождения углеводородов, их генерации, миграции и аккумуляции.

К середине 70-х годов прошлого века практически повсеместно победили представления, получившие статус теории об осадочно-миграционных процессах формирования залежей. Представления о глубинном происхождении нефти стало достоянием исследователей-энтузиастов. Базируясь на представлениях осадочно-миграционной теории происхождения нефти, её целенаправленно стали искать в районах с большой мощностью осадочного комплекса, в разрезе которого имелись нефтепроизводящие толщи, морские или прибрежноморские отложения, способные формировать коллектора и покрышки.

На основе этих представлений были открыты только в Советском Союзе крупнейшие нефтегазоносные провинции - Волго-Уральская, Тимано-Печорская, Западно-Сибирская, Прикаспийская, Лено-Тунгуская и ряд других. В соответствии с этими представлениями в СССР была сформирована и концепция поиска месторождений нефти и газа, предусматривающая определенную этапность и стадийность этих работ. Перед каждым этапом и стадией ГРП ставились свои цели и задачи, для решения которых предусматривался и свой широкий комплекс геологических работ. На первом региональном этапе геологоразведочного процесса было необходимо выявить структурные этажи, литолого-стратиграфические комплексы, их формирующие, наличие нефтематеринских толщ, стадию их метаморфизма и ряд других задач. Для их решения предусматривалось проведение комплекса геофизических, геохимических работ, опорного и параметрического бурения, проведение работ по региональным сейсмическим профилям.

На втором поисковом этапе задача сужалась, было необходимо выявить и подготовить перспективные объекты для бурения и провести поисковое бурение. Количество методов несколько сокращалось, основными становились площадные сейсмические работы и бурение поисковых скважин, способных открывать месторождение. Другие методы - геофизические и геохимические - использовались по сравнению с сейсмическими в ограниченных объемах. На третьем разведочном этапе предусматривалась оценка месторождения и подготовка его к разработке. Главенствующими методами на этом этапе становятся детальные сейсмические исследования и глубокое бурение. Реализовывать такую сложную, многоступенчатую схему поиска месторождений можно лишь при плановой экономике, когда финансовые потоки сконцентрированы и средства и силы могут централизованно распределяться. Такая система себя в свое время оправдала - как указывалось выше, с её помощью были открыты крупнейшие нефтегазоносные провинции. Необходимо также отметить, что даже при плановой экономике выполнить все требования по проведению полного объема работ, предусмотренного принятой схемой этапности ГРП, чаще всего не удавалось.

Сегодня в России с рыночной экономикой, когда государство практически полностью отстранилась от крупномасштабных геологоразведочных работ, официально принята ранее действовавшая в СССР схема этапности ГРП. Опыт поисковых работ на нефть и газ последних двух-трех десятилетий показывает, что в осадочно-миграционную теорию постоянно приходится вносить существенные изменения и дополнения, а на ряд вопросов она не может дать однозначно аргументированных ответов. Нефть и газ стали находить в красноцветных осадках, имеющих явно континентальное происхождение. Гигантское месторождение нефти «Белый тигр» в Южно-Китайском море контролирует гранитный массив. Промышленные запасы нефти найдены в глинистых отложениях.

Газовые гиганты Сибири найдены на небольшой глубине в сеноманских отложениях, лишенных обильного органического вещества, имеющих низкую стадию катагенеза. Сеноманские газовые залежи контактируют со слабоминерализованными пластовыми водами. Крупные запасы нефти найдены в рифейских и кембрийских отложениях, что позволяет сделать вывод о молодости этих залежей. В Волго-Уральской области на месторождениях, разрабатываемых более 50 лет, выбраны все расчетные запасы нефти, а ее добыча продолжается, что свидетельствует о ее подтоке извне. Все эти и ряд других фактов позволили ученым пересмотреть положения осадочно-миграционной теории происхождения нефти и газа и сформулировать основные положения о флюидодинамическом происхождении углеводородов. Если эти современные взгляды верны, то диапазон поиска нефти и газа значительно расширяется. Залежи нефти и газа могут быть обнаружены в самых непредсказуемых с точки зрения осадочно-миграционной теории происхождения нефти местах.

В этом кратком, тезисном обзоре была предпринята попытка показать, как в зависимости от представлений об условиях залегания нефти, ее происхождении, конъюнктуры на мировых рынках менялась и концепция поиска нефти. В XXI век геологи, опираясь на представления о флюидодинамическом происхождении нефти и газа должны придти с новыми технологиями поиска. К этому нас подталкивают и формирующиеся в России рыночные отношения в недропользовании. Сегодня трудно себе представить такой разворот геологоразведочных работ, какой был организован с 1948 года при освоении Западно-Сибирской низменности.

Суть этой новой концепции должна опираться на известный тезис - от поиска перспективных объектов к поиску месторождений нефти и газа. В настоящее время поиск перспективных объектов и месторождений ведется в основном с помощью сейсморазведки, которая является одним из самых «тяжелых» геофизических методов. Конечно, последнее слово всегда останется за «господином» долотом, но где бурить, должны определить новые «легкие» технологии, опирающиеся на последние достижения науки, техники, приборостроения, компьютерной обработки и интерпретации.

Базу для формирования новой концепции поиска сформировали Томские ученые, профессора и доценты ТПУ, ученые академических институтов, Томского государственного университета. Основой этой технологии должна стать обработка космоснимков энергоинформационным методом, которая позволяет определить границы месторождения в любой точке земного шара. Апробация этой технологии первоначально проводилась на хорошо изученных месторождениях Томской области, Красноярского края, Вьетнама, Афганистана.

Поисковые работы по выявлению месторождений проводились на землях Томской области, Красноярского края, Хакасии. В результате этих работ подготовлено шесть объектов. На одном из них на прогнозируемой глубине в пределах Берябинской площади открыто газоконденсатное месторождение. При испытании скважины-первооткрывательницы был получен приток газа дебитом 930 тыс. куб.м. На одном из объектов Томской области был проведен полный комплекс работ, предусмотренный новой инновационной технологией.

В него, кроме обработки космоснимков, входят три модификации радиогеохимических исследований, разработанных и внедряемых в ТПУ под руководством профессора Л.П.Рихванова, методика интерпретации данных

высокоточной магниторазведки, разработанная сотрудниками кафедры геофизики ТПУ под руководством профессора Л.Я. Ерофеева, и наконец две модификации электроразведочных работ, разработанные сотрудниками СНИИГГиМСа.

Эти работы позволили с достаточной достоверностью определить границы прогнозируемого месторождения, в пределах которого планируется постановка глубокого бурения без выполнения сейсмических работ. После открытия первой скважины месторождения будут проведены детальные сейсмические работы в пределах четко ограниченных перспективных участков. Такой подход позволит сэкономить время и средства на открытие месторождения.

Можно с уверенностью сказать, что Томскими учеными создана надежная база для формирования и реализации новой концепции поиска нефти и газа, соответствующей достижениям XXI века и новейшим представлениям нефтяной геологии и экономическим отношениям.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА АДЫЧА-НЕРСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Ф.Е. Семенов, Н.Е. Тимофеев

Научный руководитель к.г.-м.н. Е.Э. Соловьев

*Горно-геологический институт Якутского государственного университета,
г. Якутск, Россия*

Адыча-Нерская металлогеническая зона расположена в области сочленения двух крупнейших тектонических структур Северо-Востока Азии – Колымо-Омолонского супертеррейна и Верхоянской окраины Северо-Азиатского кратона. Она входит в состав Яно-Колымского позднеюрско-раннелавского коллизийного металлогенического пояса. Металлогеническая зона прослеживается в северо-западном направлении на 600 км. при ширине до 150 км. К ней приурочены золото кварцевые жильные месторождения, являющиеся основным источником формирования россыпей. Зона охватывает Кулар-Нерский сланцевый пояс, сложенный пермскими и триасовыми глубокоководными черносланцевыми толщами аккреционного клина и смежную часть Верхоянского складчато-надвигового пояса, образованную, в основном, шельфовыми отложениями триаса.

С севера-запада Адыча-Нерская зона ограничена Чаркы-Индибирским надвигом и Чай-Юреинским разломом. Надвиг прослеживается на расстоянии более 400 км и характеризуется значительными горизонтальными перемещениями. По надвигу верхнетриасовые отложения Кулар-Нерского сланцевого пояса перекрываются средне-верхнеюрскими отложениями Иньяли-Дебинского синклинали. На удалении от надвига известны фрагменты (клиппы) юрских тектонических покровов. Надвиг проявляется зоной брекчированных, интенсивно дислоцированных пород и сопровождается пакетами изоклинальных и сжатых складок. Отмечается приуроченность к надвигу россыпной и рудной золотоносности, окварцевание и сульфидизация пород. Чай-Юреинский разлом протягивается на 1000 км и отделяет юрские отложения от пермских и триасовых. Он характеризуется юго-западной вергентностью, вертикальная амплитуда смещения составляет 1-3 км, а сдвиговые перемещения превышают несколько километров. Разлом выражен широкой (1 км) зоной дробления, смятия, пиритизации и повышенной гидротермальной деятельности, которая прослеживается вдоль р. Неры. Он имеет северо-западное простирание и в районе работ проявляется рядом самостоятельных разломов - Лево-Интахского, Продольного, Нерского и Двойного.

В металлогенической зоне проявлено гидротермальное и метаморфогенное золото кварцевое жильное оруденение. Выделяются Курун-Агылыкский, Бурустахский, Алачубугский, Хангаласский и Хараюрхский рудные узлы, с золоторудными проявлениями и пунктами минерализации. К кварцевым жилам и зонам окварцевания осадочных и дайковых пород относится большое количество жил в бассейнах рек и ручьев: Интаха, Анки, Кюелляха, Двойного, Хангаласа, Артыка, Курун-Агалыка и др. Жильные тела сложены кварцем, реже - карбонатом, с примесью хлорита, пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита и др. Длина жил 100-200 м, но иногда достигает 1000 м, мощность их 0,1-1,5 м, редко 5-8 м. Кварцевые жилы бывают как секущими, так и пластовыми. Наиболее крупные из них ориентированы обычно вдоль складчатых структур. Жилы и зоны окварцевания в той или иной степени золотоносны, при разрушении являются основными источниками золота в аллювии.

Для повышения надежности прогнозов построений при оценке рудоносности перспективных территорий разработаны следующие геофизические критерии золотого оруденения Адыча-Нерской металлогенической зоны.

1. Рудоносные структуры характеризуются повышением плотности и понижением магнитной восприимчивости горных пород.
2. Гидротермально-измененные и вмещающие породы существенно различаются по плотности - средние значения плотности составляют $3,27 \cdot 10^{-3}$ и $2,69 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ соответственно.
3. Месторождения и проявления золота юго-восточного сектора Адыча-Нерской металлогенической зоны приурочены к областям нулевой корреляции на карте изолиний коэффициента корреляции гравитационного и магнитного полей.

Установленные анализом физических свойств критерии поисков золотого оруденения, связанные с повышением плотности, понижением магнитной восприимчивости, различия по статистическим характеристикам рудовмещающих и вмещающих пород, приуроченность золотого проявления к областям нулевой корреляции гравитационного и магнитного полей обеспечивают выявление перспективных зон золотого оруденения Адыча-Нерской металлогенической зоны.

Месторождения и проявления золота Адыча-Нерской металлогенической зоны выделяются зонами локальных положительных аномалий северо-западного простирания. На картах трансформант гравитационного поля (V_{zz} , локальной составляющей Δg) эти месторождения и проявления можно выделить по пересечениям локальных линейных положительных и отрицательных аномалий северо-западного и северо-восточного простираний.

При обработке гравитационного поля путем выделения региональной составляющей Δg , расчета аномалий Саксова-Нигарда (радиусы осреднений $R_1=5$ км, $R_2=25$ км) установлен выступ кристаллического фундамента, к которому пространственно приурочены все месторождения и проявления золота.

СИСТЕМА КАЧЕСТВЕННОЙ И КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Л.В. Суоров, Ю.А. Агафонов

ГеоИнформЦентр ФГУГП Иркутскгеофизика, г. Иркутск, Россия

В партии электромагнитных исследований Геоинформационного Центра предприятия Иркутскгеофизика создан и развивается аппаратно-программный комплекс «Пикет» для работ методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Основное направление для применения телеметрической электроразведочной станции «Пикет» – изучение строения осадочного чехла при решении структурных, нефтегазовых, экологических задач. А именно – определение глубины залегания кристаллического фундамента, исследования с целью прогноза условий проходки глубоких скважин, поиск зон повышенной проводимости, к которым приурочены горизонты с улучшенными коллекторскими свойствами (например, насыщенными высокоминерализованными растворами).

Совершенствование технологии полевых работ и методики обработки результатов ЗСБ необходимо для улучшения качества получаемой геолого-геофизической информации, а также для расширения круга геологических задач, решаемых с применением электроразведки. В данной работе рассматриваются современные подходы к интерпретации и визуализации данных электромагнитных зондирований.

Возможно разделение проблемно-ориентированного программного обеспечения на нескольких базовых групп отличающихся по узкой целевой направленности: 1 – программы для предварительной обработки данных, зарегистрированных с арифметическим или геометрическим шагом дискретизации по времени, фильтрации помех, суммирования накоплений и подготовки максимально информативных кривых зондирований; 2 – программное обеспечение для обеспечения количественной (инверсия) и качественной интерпретации результатов, математического моделирования; 3 – средства, обеспечивающие графическое отображение результативных данных в виде разрезов, карт, графиков геоэлектрических параметров.

Одно из важнейших направлений развития комплекса авторы видят в развитии блока интерпретации, состоящего из двух взаимосвязанных программ. Эти программы отвечают за визуализацию, качественный анализ и количественную интерпретацию данных зондирований. Одной из основных идей, заложенных авторами при создании системы, было максимальное отдаление от сторонних программных средств. Это связано с тем, что в случае их использования значительно усложняется цепочка действий, которые приходится выполнять интерпретатору для получения результата. В рамках этой идеи создается подсистема визуализации данных, позволяющая быстро и качественно отображать результаты и выводить их на печать. Также обе программы включены в общую систему работы с данными программного комплекса, что позволяет быстро получать доступ к информации и, при необходимости, задействовать функции других программ комплекса.

Программа визуализации, анализа и качественной интерпретации «PROFILE» (рис. 1) предоставляет следующие возможности:

- просмотр кривых зондирований в профильном представлении;
- экспрессная визуализация диаграмм, разрезов и карт;
- подготовка файлов для визуализации в других программах;
- контейнер для визуализированных материалов с возможностью печати;
- автоматизация работы с внешними приложениями;
- статистическая обработка, построение гистограмм;
- построение разрезов дифференциальной и аномальной проводимостей ;
- быстрый расчет и анализ статистической информации по набору данных;
- построение гистограмм распределения проводимости горизонтов;
- построение графиков различных параметров;
- печать паспортов кривых.

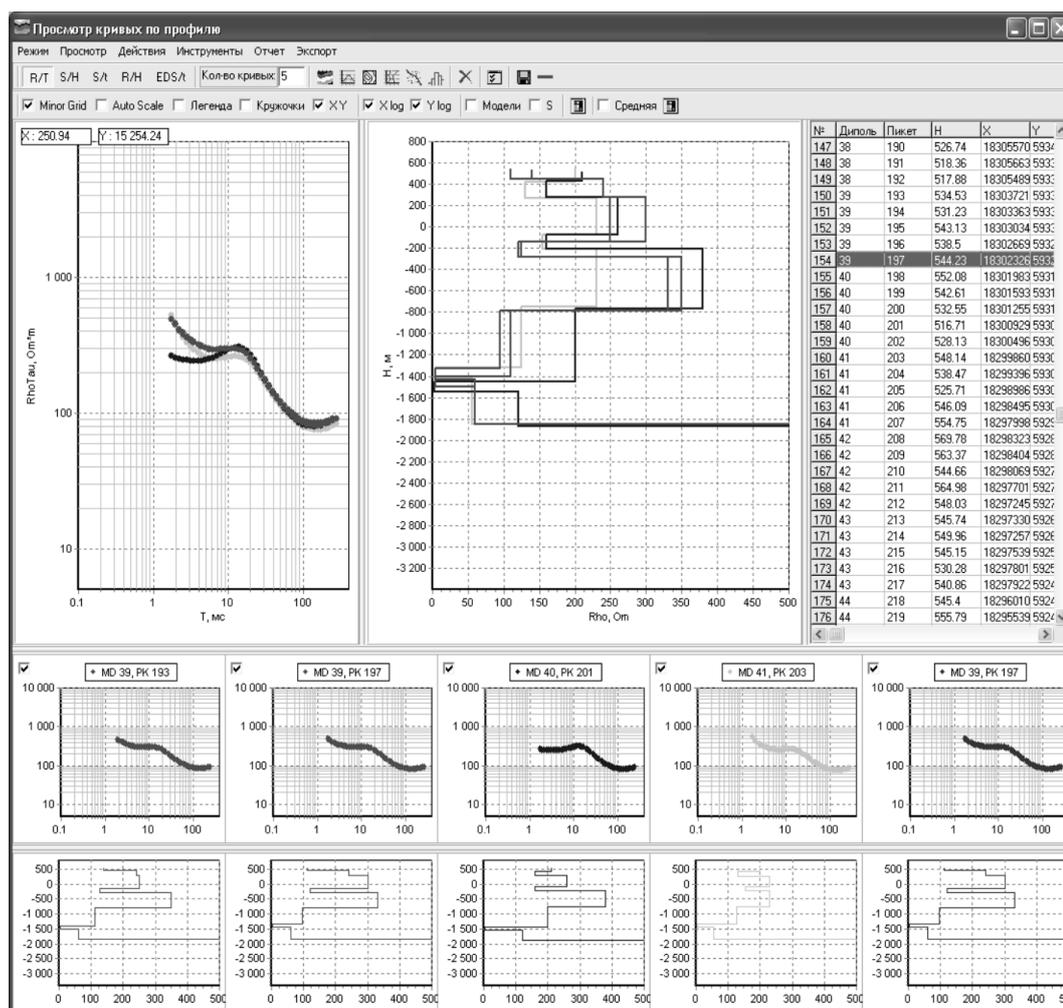


Рис. 1. Главное окно программы качественной интерпретации и визуализации (PROFILE)

Программа количественной интерпретации и моделирования «MODEL» (рис. 2) реализована на основе прямых и обратных задач, разработанных в Институте Геофизики СО РАН. Среди особенностей программы можно выделить использование высокоточных математических алгоритмов и эффективную систему представления данных в площадном и профильном вариантах (карт и разрезов), геоэлектрических моделей и кривых зондирования в различных трансформациях. Удобный графический интерфейс позволяет кардинальным образом изменить подход к интерпретации. Возможности программы «MODEL»:

- расчет и построение одномерной геоэлектрической модели среды;
- вычисление теоретических 1-D и 3-D электромагнитных откликов для заданной сети наблюдений;
- проектирование модельной сети наблюдений;
- расчет сигналов с учетом 3-D неоднородностей;
- двухмерная и трехмерная визуализация результатов (ГИС, OpenGL);
- расчет электромагнитных откликов с учетом вызванной поляризации для сложных установок зондирования (Q-q, Q-MN, AB-q).

В перспективе планируется внедрение новых алгоритмов решения прямых и обратных задач и создание системы интерпретации на основе 2-D и 3-D томографической инверсии

За последние пять лет наблюдается устойчивый рост объемов работ методом ЗСБ. Разрабатываемый программный комплекс позволяет эффективно работать с постоянно увеличивающимися объемами данных – производить их обработку и интерпретацию. В комплексе с географическими информационными системами и базами данных описываемые программные средства позволят улучшить качество результатов и повысить эффективность нестационарных электромагнитных зондирования.

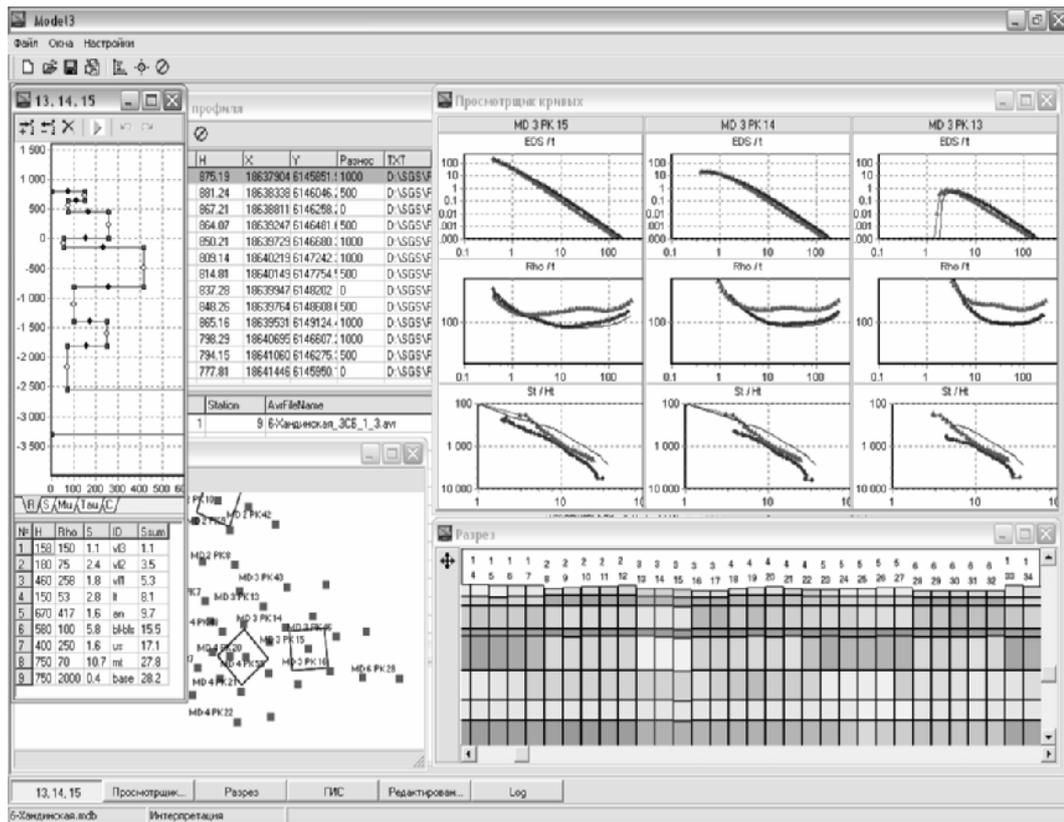


Рис. 2. Главное окно программы интерпретации и моделирования (MODEL).

К СОЗДАНИЮ ОПОРНОГО ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ПЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ТОМСКО-КАМЕНСКОГО ВЫСТУПА

Ю.В. Сухорукова

Научный руководитель доцент Г.Г. Номоконова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Мониторинг состояния экологической среды в районах заборов питьевой воды в современных условиях должен выполняться на основе количественной, точной и объёмной информации. Таким требованиям удовлетворяют геофизические наблюдения. Изменение геофизической обстановки, связанное с проникновением жидких промышленных отходов в проницаемые пласты, может быть обнаружено, если имеется надёжный петрофизический эталон неизменённого разреза, некоторый фон, относительно которого следует отмеривать появившиеся техногенные изменения. Создание такого эталона является актуальной задачей, первым этапом петрофизического обеспечения геофизического мониторинга среды, окружающей места водозаборов.

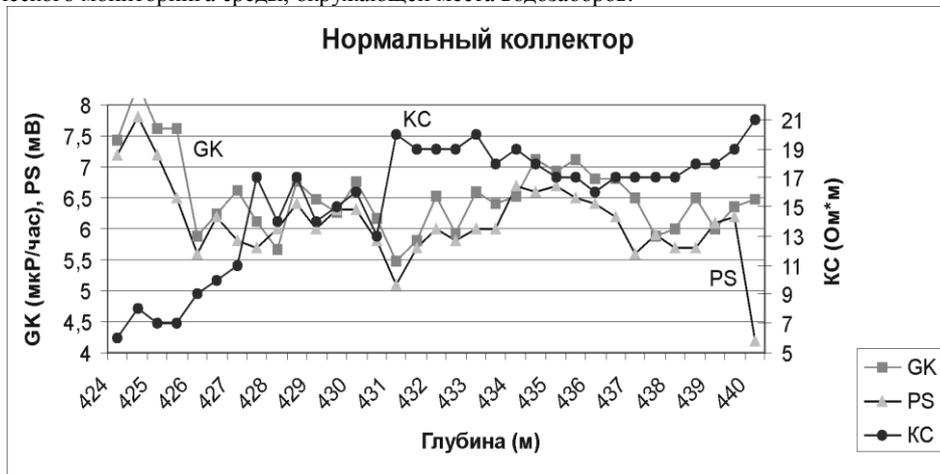


Рис. 1. Петрофизическая характеристика разреза, включающего коллектор нормального типа (430-435 м) и хороший экран (424-426.5 м)

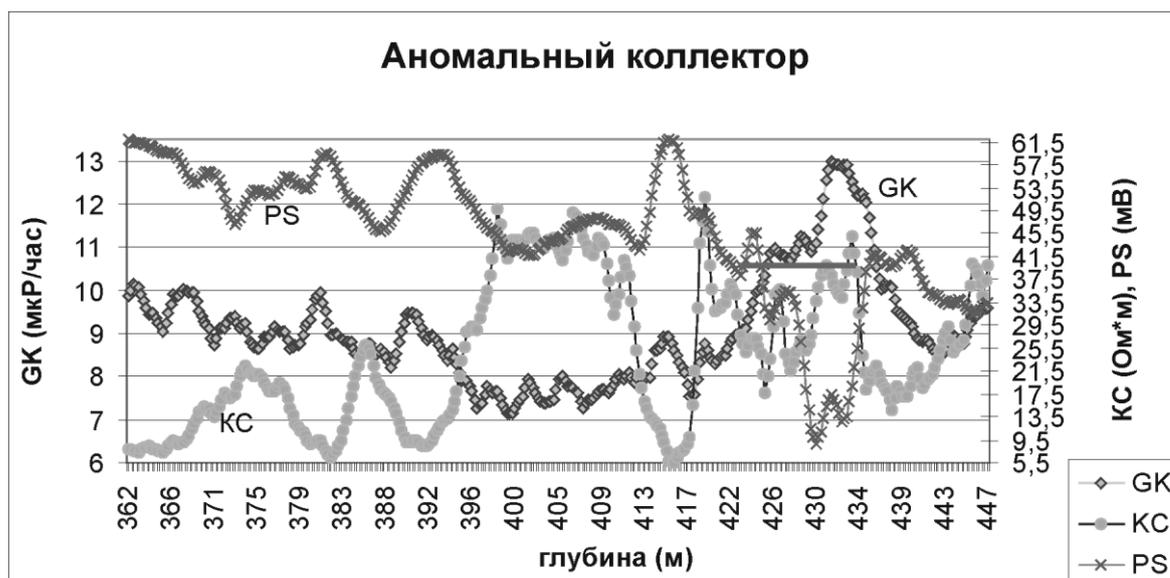


Рис. 2. Петрофизическая характеристика разреза, включающего коллектор аномального типа (422-435 м)

Томско-Каменский выступ, в пределах которого находится водозабор, сложен терригенными мезозойско-кайнозойскими отложениями плитного комплекса (чехла) и палеозойским фундаментом. Мощность плитного комплекса порядка 500 метров. Забор питьевой воды осуществляется из верхнемеловых (сымская свита) и олигоценых (атлымская свита) отложений, имеющих в своём составе пески-коллекторы и глины-экраны. Экологическая проблема водозабора заключается в том, что вблизи него находится промышленно нагруженная территория.

Опорный разрез для создания петрофизического эталона должен удовлетворять следующим требованиям: а) находиться вблизи водозабора и на удалении от мест захоронения промышленных отходов; б) содержать полный стратиграфический разрез с наличием горизонтов водозабора и горизонтов захоронения промышленных отходов; в) характеризоваться максимальной изученностью методами геофизических исследований скважин и наиболее полной обеспеченностью керновым материалом.

В настоящей статье излагаются первые результаты исследования по созданию опорного разреза. Изучены геологические и геофизические материалы по разрезам двух скважин, удовлетворяющим вышеперечисленным требованиям. Пока исследованы только коллекторы и три петрофизических параметра: кажущееся удельное электрическое сопротивление (КС); естественная гамма-активность (ГК) и самопроизвольная электрическая поляризация (PS). Всего изучено 1700 метров разреза с наблюдением параметров через 25 см. Результаты исследований сводятся к следующему.

В целом по изученным разрезам параметры изменяются согласованно, что указывает на неизменность песчано-глинистых пород вторичными эпигенетическими процессами. Пласты песков-коллекторов отмечаются понижениями значений GK и PS и повышениями КС (рис. 1). Глинистые образования характеризуются противоположной петрофизической характеристикой. Качество коллекторских и экранирующих свойств пород можно оценить по амплитуде отклонений исследуемых параметров от их среднего уровня.

В изученных разрезах коллекторы различаются по уровню значений петрофизических параметров, характеру коррелируемости между ними, статистическим распределениям, а также по изменению параметров в границах пласта-коллектора. Всего выделяется четыре петрофизические разновидности коллекторов, объединённые в два типа: нормальный и аномальный (рис. 1 и 2).

Большинство выделенных коллекторов относятся к нормальному типу. Характерные признаки таких коллекторов: согласные изменения значений GK и PS и противоположное по знаку изменение КС; улучшение коллекторских свойств к кровельной части пласта, выше чего они имеют хорошую крышку. Отдельные разновидности таких коллекторов отличаются изменением тесноты связи между GK и PS, указывающим на появление полевощпатовых коллекторов, проявляющемся также в дву-modalности распределения радиоактивности, а также в различной степени выраженности пространственного изменения свойств коллектора, во влиянии минерализации поровых вод на соотношение и коррелируемость параметров PS и КС. Типоморфным же свойством нормальных коллекторов является прямые корреляционные связи между радиоактивностью и поляризуемостью, отражающие соотношение песчаности-глинистости коллектора.

Аномальный коллектор встречен нами в разрезе одной из скважин на глубинах 422-435 м (рис. 2). Выше по разрезу можно видеть нормальный коллектор с соответствующим соотношением между параметрами: согласное понижение GK и PS и повышение КС (397-414) м, который отделён от аномального хорошей крышкой (максимум GK и PS, минимум КС). Аномальность коллектора проявляется в том, что к подошвенной части пласта, характеризующейся здесь, судя по значениям PS и КС, улучшенными коллекторскими свойствами, радиоактивность не понижается, а повышается, принимая наибольшие для изученных разрезов значения – 13 мкР/час. Связь между PS и GK поменялась с прямой на обратную, что следует считать типоморфным признаком аномального коллектора. Поиск подобных соотношений между GK и PS в других разрезах региона не дал положительных результатов. Нельзя предположить такие соотношения между петрофизическими параметрами в терригенном разрезе и из чисто теоретических соображений.

Следовательно, аномальная радиоактивность коллектора и обратное соотношение между значениями GK и PS имеют техногенную природу.

Подтверждение этому тезису могли бы дать специальные исследования аномальных коллекторов: а) изучение их распространения по площади и увязка с размещением мест захоронения промышленных отходов; б) изучение состава гамма-излучения, по которому можно определить изотопы – источники излучения. Необходимо также тщательнее изучать надёжность глинистых экранов.

СООТНОШЕНИЕ СЛОЖНОСТИ И КОРРЕЛИРУЕМОСТИ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ И РЕЛЬЕФА ДНА ОХОТСКОГО МОРЯ

Е.И. Сычёва, М.Г. Валитов, В.А. Гореликова

Научные руководители профессор Р.Г. Кулинич, доцент В.А. Картунов
Дальневосточный государственный технический университет, г. Владивосток, Россия

Данные о сложности геопотенциальных полей и рельефа дна, полученные с помощью вычисления их энтропии, представляют собой объективную информацию и могут служить дополнительными элементами для вычисления общих закономерностей распределения геофизических полей, их корреляционной связи с геоморфологическими структурами и повышения логики интерпретационной процедуры. Количественная типизация геофизических полей и основанное на ней геолого-геоморфологическое районирование базируются на том, что различные участки исследуемой площади могут отличаться друг от друга численными значениями энтропии полей, показывающими многообразие видов распределения, которое и определяется процессами формирования геолого-геоморфологического строения земной коры.

Основной характерной чертой карт энтропии (с шириной окна вычисления 100 и 200 км) является повсеместное распределение участков повышенной сложности анализируемых полей и некоторое отсутствие соответствия в плане аномальных зон. Максимальный размах значений энтропии отмечается для магнитного поля, которое характеризуется относительно меньшей средней сложностью своей структуры в пределах всей площади Охотского моря, а минимальный размах и максимальная средняя сложность строения свойственна гравитационному полю. В свете этого, рассматривая распределение магнитовозмущающих объектов по вертикали, можно сказать, что большая часть их располагается на глубинах более 10 км и соответствует поверхности консолидированного фундамента, осадочные же отложения если и характеризуются наличием магнитных неоднородностей то с линейными размерами, как правило, отличающимися от размеров основных морфологических структур дна. Таким образом, можно считать, что теоретически функционально связанные магнитное (с одной стороны), гравитационное и геоморфологическое (с другой стороны) поля при их трансформации в поля сложности характеризуются зачастую очень незначительной стохастической зависимостью, что отражается и в их исходных аналогах, в пределах всей площади Охотского моря.

Тем не менее, простирание осей гравитационных и геоморфологических аномальных зон энтропии в большинстве случаев хорошо согласуются друг с другом. Ярким исключением является участок севернее Центрально-Охотского поднятия, где четко выраженная аномальная зона пониженной сложности рельефа дна имеет сильно вытянутую форму с превышением длинной оси над короткой в 7-8 раз. Эта зона соответствует Северному прогибу, в пределах которого мощность осадочного слоя достигает более 3 км. В плане изолиний энтропии гравитационного поля этот прогиб фиксируется только фрагментарно рядом изометричных аномалий пониженных и повышенных значений сложности.

Большая площадь пониженных значений сложности геоморфологического строения дна в плане совпадает с Курильской котловиной, центральная часть которой хорошо фиксируется в поле энтропии гравитационного поля линейной зоной, оконтуриваемой изолинией 0,85. Отсутствие здесь полного совпадения аномальных зон рассматриваемых полей обусловлено изменением мощности верхнего структурного этажа осадочных отложений (от 0,5 до 3 км), областями пониженных мощностей до 4-8 км и линзами максимальной мощности (около 24 км) базальтового слоя.

Курильское поднятие отмечается максимально повышенными значениями сложности геоморфологического и гравитационного полей. Тенденция изолиний энтропии поля силы тяжести к локальным изгибам и концентрации в изометрические аномалии, нарушающими линейность общей северо-восточной ориентировки, свидетельствуют о суммарном, сложно построенном наблюдаемом поле, отражающем действие многих источников плотностных неоднородностей. Здесь сложность этого поля в одних случаях ослабляется, а в других, наоборот проявляется в усиленной форме за счет отрицательных и положительных превышений рельефа второго и третьего порядков, наличия подводных долин и каньонов, площадок, уступов, ступеней и других морфоструктур. Кроме этого, здесь отмечаются увеличения мощности базальтового слоя под островами Большой Курильской дуги и ее сокращения под Малой Курильской дугой.

Координатное положение, простирание и мощность аномальных зон пониженных значений энтропии гравиметрического поля и рельефа дна Курило-Камчатского желоба согласуются друг с другом при максимальной прямой корреляционной зависимости. И в том и в другом случае отмечаются зоны понижения сложности полей, непрерывно прослеживающиеся с южной границы на северо-восток к восточной окраине исследуемой площади, в пределах которых проявляется система замкнутых изолиний с одиночными локальными минимумами. Соответствие и совпадение этих зон и аномалий в плане свидетельствуют о преимущественно рельефных факторах формирования гравитационного поля Курило-Камчатского глубоководного желоба.

Все остальные морфоструктуры (возвышенности, впадины, прогибы) Охотского моря или не отражаются в вышеописанных полях сложности или имеют очень слабое выражение, что свидетельствует о разнообразии этих объектов с точки зрения их геоморфологического, геологического и плотностного строения.

Карта сложности магнитного поля, как уже упоминалось выше, из-за ее слабой корреляционной связи с рассмотренными полями энтропии заслуживает меньшего внимания. Наиболее яркой и необычной особенностью

трансформированного магнитного поля является сложно построенная аномальная зона максимально повышенных значений энтропии в юго-восточной части площади, рассекаемая и оконтуриваемая линейными аномалиями резкого понижения данного параметра. Эта исключительная особенность рассматриваемого поля привела к нарушению и сдвигу хорошо прослеживаемой в восточной части линейной аномалии пониженной сложности, в плане совпадающей с Курило-Камчатским желобом.

Возможной причиной такого сочетания аномалий является простираение зон базальтового слоя, представленного отдельными пятнами увеличенной мощности, прослеживаемых как с западной стороны от глубоководного желоба, так и за пределами его восточного склона. Эта Курило-Камчатская область наибольшей мощности коры представляет собой моноклиналь, образуемую линзами земной коры и океаническим блоком западной части Тихого океана, вдоль и вкрест простираения которой располагаются локальные утолщения коры. Кроме того, установлено, что магнитоактивные объекты имеют здесь максимально широкое распространение как в пределах нижней толщи осадочного и базальтового слоев, так и в слоях верхней мантии.

По данным автокорреляционного анализа геопотенциальных полей акватории Охотского моря глубины залегания возмущающих объектов находятся в пределах от 0 до 20 км и только для рассматриваемого участка и площади Курильской котловины магнитоактивные массы располагаются не только в консолидированной коре, но и в верхней мантии. В той или иной мере следует отметить и отчетливую связь значений энтропии магнитного поля и поля силы тяжести, проявляемую на данном участке прикурильской зоны Тихого океана, что также подчеркивает обособленность его геолого-геофизического строения. Таким образом, результаты количественной интерпретации и качественный анализ первичных и трансформированных геопотенциальных полей показывают, что основные особенности этой региональной зоны обусловлены базальтовым слоем, который фиксируется серией полосовых магнитных аномалий северо-восточного простираения, ширина которых достигает 100 км, а интенсивность аномалий нередко превышает 1000 нТл.

Таким образом, отсутствие согласованности ориентировки простираения зон различной мощности гранитного и базальтового слоев с плановым положением геоморфологических структур Охотского моря, а для его центральных и северных районов отсутствие каких-либо корреляционных связей между мощностями осадочных пород, слоев консолидированной коры и интенсивностями геопотенциальных полей привели в некоторых случаях и к невыразительности интерпретационной схемы карт энтропии.

Анализ взаимной корреляции гравитационного и батиметрического полей показывает, что для большей части Охотского моря характерны положительные области коэффициента корреляции и их численные значения, как правило, более 0,5, что свидетельствует о достаточно существенной положительной связи между рассматриваемыми полями. Однозначной линейной функциональной связью, когда каждому значению батиметрического поля соответствует одно значение поля силы тяжести, фиксируется Курило-Камчатский желоб и хребет Витязя, о чем свидетельствуют линейные зоны коэффициентов корреляции, численные значения которых превышают величину 0,9.

В пределах Курильской котловины значения коэффициента корреляции изменяются от $-0,5$ до $+0,7$. Зона отрицательных локальных аномалий, тяготеющая к центральной части котловины, вероятно, соответствует поднятию фундамента. Эта зона может быть обусловлена и несопоставлением структур осадочного слоя с первичными гравитационными аномалиями, максимальное расхождение между которыми и по простираению, и по знаку отмечаются в центральной части Охотского моря. В подавляющем большинстве случаев отмечается прямая связь между границами котловины и высокоградиентными зонами коэффициента корреляции.

Впадина Дерюгина находит четкое отражение в области обратной коррелируемости, а ее границы фиксируются градиентными зонами перехода от отрицательных к положительным значениям связи полей. Подобный характер корреляционного поля наблюдается и в пределах впадины ТИНРО. Такая отчетливая связь между глубиной внутренних впадин Охотского моря и гравитационным полем обусловлена уменьшением глубин до поверхности базальтового слоя и границы Мохоровичича.

Третья значимая область отрицательных величин коэффициента корреляции находится севернее Центрально-Охотского поднятия, отмечаемого областью положительной корреляции, и может быть связана с увеличением мощности осадочного слоя до 6 км и фрагментом Северного прогиба.

Карты взаимной корреляции магнитного поля с рельефом дна и с полем силы тяжести представлены уравновешенной частотой проявления аномальных зон положительной и отрицательной связи. Интересно отметить, что существует преимущественное совпадение однозначных аномалий этих полей корреляции по площади всего Охотского моря.

Линейные структуры Курило-Камчатского желоба и хребта Витязя находят лишь фрагментарное выражение в этих полях. Отрицательные изометричные морфоструктуры Охотского моря проявляются, как правило, значениями коэффициента корреляции, близкими к нулю.

Возвышенности Академии наук и института Океанологи значительно менее выразительны в этих полях взаимной корреляции и тяготеют к слабым положительным аномалиям. Нетрудно убедиться, что отсутствие четких корреляционных связей магнитного поля с рельефом дна и с гравитационным полем обусловлено широким, равновеликим распространением магнитоактивных масс как в нижней толще осадочного слоя, так и в консолидированной коре. В верхней толще осадочного слоя они, наоборот, практически отсутствуют на большей части Охотского моря.

ПРИЧИНЫ ПОНИЖЕННЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИХ ПРОПУСКА ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Р.А. Шишкин

Научный руководитель профессор. Л.Я. Ерофеев

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В верхнеюрских отложениях ряда нефтяных месторождений Томской области в процессе эксплуатации залежей были получены безводные притоки нефти при низких значениях удельных электрических сопротивлений (УЭС) пластов порядка 3,0-5,5 Ом м, определенных при интерпретации промыслово-геофизических данных.

Проблема пропуска коллекторов с пониженным сопротивлением не нова, она возникает при интерпретации данных геофизических исследований как для добывающих, так и для разведочных скважин.

В ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» данная проблема возникла в 1985 г. при подготовке подсчета запасов Малореченского месторождения. Выполнена исследовательская работа под руководством А.В.Ежовой (1990), которая позволила частично решить данную проблему. Лабораторные исследования, выполненные на больших шлифах, показали, что в качестве причины аномальности промыслово-геофизических характеристик нефтенасыщенных пластов, оцениваемых как водоносные из-за низкого значения ρ_n по данным электротометрии, является присутствие в них минералов-полупроводников, которые представлены сульфидами (пиритом), окислами титана и гидроокислами железа. Решение данного вопроса сказалось положительно на приросте запасов по месторождению и защите отчета в ГКЗ.

Однако данная проблема далека от решения.

Например, в низкоомных коллекторах месторождений Каймысовского свода содержание пирита минимально, а удельное сопротивление нефтяных пластов порядка 3,0-3,5 Ом м.

Низкоомные коллектора вскрыты почти на всех разрабатываемых месторождениях Каймысовского свода: Катыльгинское, Западно-Катыльгинское, Онтонигайское, Олень, Первомайское, Двуреченское и др.

Видимо, в настоящее время недостаточно изучены причины пониженных сопротивлений нефтенасыщенных сред. Строение этих сред оказалось гораздо сложнее, и общепринятые модели изменения петрофизических характеристик коллекторов в связи с нефтенасыщением не всегда могут объяснить аномалии, соответствующие залежам и разрушенным их частям. Это, естественно, отрицательно сказывается на разработке методов прогнозирования.

Одной из причин низкого сопротивления в коллекторах Каймысовского свода можно считать то, что продуктивные пласты Ю1-0 и Ю1-1 представлены полимиктовыми песчаниками. Выполненные за последние годы капилляриметрические исследования зерна показывают, что содержание связанной воды в таких песчаниках достигает 40-55% (табл.), что резко снижает удельное электрическое сопротивление продуктивных пластов. Отсюда следует вывод о том, что определение удельного электрического сопротивления коллекторов необходимо производить по различным методикам, сравнивая при этом результаты расчетов. Также определение сопротивления необходимо проводить с учетом и без учета коэффициента остаточной водонасыщенности, который, в свою очередь, должен определяться на основе капилляриметрии зерна.

В настоящее время изучается вопрос возникновения низких сопротивлений в переходных зонах и близ водонефтяных контактов. Известно, что около ВНК в полевошпатовых коллекторах происходит каолинизация полевых шпатов. Резко меняется структура порового пространства и скелета породы, что, в свою очередь, создает дополнительную - структурную глинистость, которая снижает удельное сопротивление.

Таблица

Результаты обработки порометрии образцов Онтонигайского месторождения

Образец№	Кп,%	Кпр,мД	Ков.центр.%	Мдпор.,мкм	Мдпор.мах,мкм
16121	17.4	39.2	35.7	4.369	9.7
16115	18.2	32	28.2	1.793	7.6
16120	18.1	32.1	27.5	1.987	9.7 и 1.07
4-89	17.6	29.3	25.4	3.199	7.6
16112	16.1	12.8	31.3	1.764	7.6 и 1.37
16133	14.7	6.2	35.3	1.439	2.24
16119	15.9	5	42.6	1.205	1.75
16136	14.4	4.1	43.8	1.058	1.75
1-89	13.3	2.9	35.9	1.619	7.6-1.37
11632	11.1	2.2	46.6	1.167	1.37
Min	11.1	2.2	25.4	1.058	
Max	18.2	39.2	46.6	4.369	
Sredn	15.68	16.58	35.23	1.96	

Кроме этого, исследователями отмечены зоны разуплотнения коллекторов, что приводит к низким значениям удельного электрического сопротивления. Наличие зоны разуплотнения коллекторов на древних ВНК позволяет понять многие особенности стадийности процессов формирования залежей углеводородов, условий их разрушения и сохранности, что имеет существенное значение для прогнозирования.

Таким образом, проведенные исследования по низкоомным коллекторам показывают, что основной причиной пропуска продуктивных пластов с низким сопротивлением является недоучет геолого-геофизической информации. Вовлечение такой информации в процесс интерпретации материалов ГИС требует проведения специальных петрофизических исследований для конкретных физико-геологических условий и разработки технологии их использования.

